



ISSN (print) 2091-5985

ISSN (online) 2181-1946

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 4

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.

№4

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. Колшун (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 Volte (Германия)
т.ф.д., проф. Х.М. Муратов проф. Wilfrid Hofmann (Германия)

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

т.ф.д., проф. Г.Н. Узаков 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)

СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ ВА ЭКОЛОГИЯ 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 рўйхатида олинган:
2007 йил 12 январ, 02-0044 гувоҳнома, ISSN 2091-5985 (print) ISSN (online) 2181-1946..

МУНДАРИЖА

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

О.У. Салимов. Илм-фан жамиятга нур, зиё таратади.	18
К.Р. Аллаев. Ўзбекистонда 2035 йилгача ва ундан кейинги даврда энергетикани ривожлантириш истиқболлари.	25
О.В. Радионова, Р.А. Ситдиқов, С.В. Талипова. Микротармоқлар билан таъминланган электр тармоқларнинг режимлари ҳақида.	37
Т.Ш. Гайилов, Б.Х. Муродов. Энергетика тизимларининг ҳолатларини юклама графикларини энергияни аккумуляциялаш асосида текислаш билан оптималлаштириш.	51
М.И. Ибадуллаев. Уч фазали электроферромагнитли феррорезонанс занжирларда субгармоник тебранишлар.	60
М.Қ. Бобожанов, С.К. Махмутханов. Истеъмолчилар томонидан кучланиш сифати бузилишига таъсирни баҳолаш усуллари таҳлили.	71
В.В. Цыпкина, В.П. Иванова, М.Н. Козлитин, А.А. Иванов, А.Р. Аширов. Кабел ускуналарини ишлаб чиқариш тизимларининг ишончилиги ва хавфсизлигини назорат қилиш учун интеллектуал ахборот тизими.	80
Н.Б. Пирматов, С.Э. Шерназаров. Иссиқлик электр станцияларида ишлатилаётган турбогенераторнинг статор чулғамини сувли совитиш тизимида бўлаётган носозликлар ва уларни бартараф этиш усуллари.	88
А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, И.В. Сотникова, Ж.М. Низамов. Компрессор станциясидаги эхпандер-генератор блокига асосланган энергитехнологик мажмуаси.	97
А.И. Қаршибаев, Х.Ш. Муродов. Электр энергиясини йиғувчи мосламаларнинг зарядланиш параметрларини ҳисоблашнинг математик моделини ишлаб чиқиш.	105
Ш.Б. Умаров. Кесувчи вентилли автоном инверторларининг ишлашини сифатли таҳлил қилиш.	112
В.П. Иванова, В.В. Цыпкина, Д.Н. Исамухамедов, А.У. Тўрабеков. Кабел ва сим махсулотларни рақамли трансформасия қилишда чизишнинг технологик жараёнини бошқариш учун ягона тизим.	119
Э.Г. Усмонов. Ферромагнит бошқарув занжирли тиристорли частота купайтиргич.	126
Т.Ф. Махмудов. Тахياتош ИЭС буг-газ қурилмасининг турбина ва генератор ростлагичлари сошлаш параметрларини танлаш.	132
Х.А. Саттаров. Функционал имкониятлари кенгайтирилган уч фазали токни кучланишга ўзгартиргич.	140
Ғ.О. Холбоев, Б.Ш. Нарзуллаев. Электр моторларнинг энергетик параметрларини таҳлили асосида ротор техник ҳолатини диагностика қилиш моделини ишлаб чиқиш.	145
М.Т. Maxsudov. “Cloud computing” технологияси асосида асинхрон мотор реактив қувватини назорат қилиш ва бошқариш.	153
Ф.М. Қодиров, М. Сапаев. Телекоммуникация электр таъминоти тизимларидаги автоматлаштирилган бошқарув тизимларини лойиҳалаш алгоритми.	159
А.А. Пўлатов, Н.З. Махмудов, О.А. Обидов, К.А. Бобониёзов. Ўзбекистон Республикаси корхоналаридаги электр қаршилик печларнинг иссилик жараёнларини бошқариш.	166
Ш.Дж. Джураев, С.Т. Исмоилов, Д.Ш. Хушвақтов, Р.Ч. Каримов. 0,4 кВ кучланишли истеъмолчилар учун электр таъминоти тизимининг электр энергияси сифатини тадқиқ қилиш.	172
Ф.С. Исаков. Синхрон моторларни диагностика қилиш усуллари таҳлил қилиш.	183
Х.З. Назирова, О.З. Назирова. 10/0,4 кВ тақсимлаш тармоқларида электр энергияси исрофларини баҳолаш.	189
ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ	
М.А. Короли, Л.О. Низамова, Б.Б. Оппокхужаев. Республиканинг иссиқлик манбаларида когенерация қурилмаларини жорий этиш.	198

Ғ.Н. Узоқов, Ш.К. Яхшибоев, Ж.Д. Содиков, Т.Я. Ҳамраев. Ер ости мева-сабзавот омборларида тупроқ ва ҳаво ҳароратининг ўзгаришини компьютер модели асосида тадқиқ этиш.	205
Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов, Ю.У. Абдуллабеков, А.И. Анарбаев. Ўзбекистонда ИЭС турбинаси конденсаторларида совитиш тизимларининг сув кимёвий режимлари муоммолари.	212
Ф.Ш. Умарджанова, Ш.С. Мавджудова. Иссиқлик электр станциясининг айланма совутиш тизимидаги сув оқимини математик моделлаштириш.	217
Я.Д. Мухиддинова. Кунгабоқар уруғини қайта ишлаш ва қуритиш технологияси.	228
Л.О. Низамова, С.Р. Ахматова. Буғ-газ ИЭС лари учун интеграллашган мембранли технологиялари асосида СТҚ схема ечимларини ишлаб чиқиш.	234
ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ	
Т.Х. Насиров, Ш.В. Хамидов. Ишлаб чиқаришнинг энергия сифимини камайтириш ҳозирги босқичда Ўзбекистонда энергия тежашнинг энг муҳим салоҳияти ҳисобланади. .	246
Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадиров. «Agromir» МЧЖ ҚҚда энергетик текширув (энергоаудит) тажрибаси.	254
М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров. Саноат корхоналари электр таъминоти тизимларидаги электр тармоқларининг самарадорлигини баҳолаш	261
М.А. Короли, А.Р. Иванисова. Биноларнинг энергия самарадорлигини оширишга замонавий юндашувлар.	269
Н.Б. Пирматов, У.Н. Мирзаев. Ун ишлаб чиқариш корхоналари элеваторларида қўлланиладиган вертикал тасмали конвеерларда частота ўзгартиргичларни қўллаган ҳолда энергия тежаш тадбирлари иқтисодий самарадорлигини таҳлил қилиш.	277
М.К. Бобожанов, Ю.О. Очиллов. Қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланган ҳолда, дифференциаллашган тарифларга уланган истеъмолчилар самарадорлигини оширишни тадқиқ қилиш.	285
МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ	
Н.Р. Авезова, А.М. Мирзабаев, Н.А. Матчанов, Н.Н. Далмурадова, М.Б. Шерматова. Якка тартибдаги истеъмолчиларни энергия билан узлуксиз таъминлаш учун уланиш режимларининг автоматлаштирилган бошқарувига эга гибрид мобил қуёш-ёқилғи электр станцияси.	292
М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, М.М. Эшматов. Фотоэлектрик сув чиқарувчи тизимнинг ишлашини ва ҳарорат, чангланмиш, деградация таъсирида йўқотишларини назарий ва PVsyst дастури ёрдамида таҳлил қилиш.	306
Г.Т. Дадаев, Ш.А. Султанова, Ж.Э. Сафаров. Қуёш энергиясидан фойдаланиб қурилган маҳсулотлар олишни назарий тадқиқ қилиш.	318
Н.Р. Авезова, А.М. Мирзабаев, Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, М.Х. Дехконова. Худуднинг ўзига хос биоклимий шароитларини ҳисобга олган ҳолда самарали пассив стратегияларни ишлаб чиқиш.	327
Х.Ф. Зикриллаев, Т.Б. Содиков, Ю.М. Қурбанов. Тозалаш тизими билан жиҳозланган қуёш панелининг самарадорлигини таҳлил қилиш.	339
М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, Т.З. Ахтамов, С.Ф. Тошпулатов. Рефлектор ва иссиқлик коллекторининг фотоиссиқлик батареяси электр параметрларига таъсири.	344
С.Ш. Махмудов. Қуёш концентраторларининг нур қайтарувчи юзалари.	351
НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ	
М.М. Туляганов, Ш.М. Атажиев. Хоналарда газ оқиб чиқишини масофадан мобил қурилма ёрдамида назорат қилиш.	358
СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ ВА ЭКОЛОГИЯ МУАММОЛАРИ	
М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, С.Р. Жураев, Абдуазиз уулу Абдурауф. ГЭС ва ШЭС билан гидроэнергетик комплексларнинг оптимал иш режимларининг математик моделлари.	363
О.Ё. Нурматов. Насос станцияларининг гидравлик зарба параметрларини ҳисоблаш методикаси.	371

Д.Т. Палуанов, Д.К. Оспанова, Д.А. Маматкулов, С.К. Гадаев, Ф.С. Саидов. Грунтли туғоннинг хавфсизлигини баҳолаш бўйича натура тадқиқотлари.	378
М.М. Мухаммадиев, С.К. Гадаев. Каналлар гидропотенциалидан фойдаланиш учун Банки турбинага эга микроГЭС.	384
О.Х. Низамов, Ф.Т. Шадибекова. Ўзбекистон дарёларининг сув ресурсларидан халқ хўжалигида ва гидроэнергетикада фойдаланиш.	390
И.Х. Аюбова. Сув-энергетика ресурсларининг танқислиги ва Марказий Осиё мамлакатлари ўртасидаги ҳамкорлик истиқболлари.	395
К.С. Джураев, Абдуазиз уулу Абдурауф, Э.Д. Исмаилов, А.Ш. Сайфутдинов. Ўрта- Чирчик ГЭС Каскади негизида ГАЭСни яратиш асослари.	402
ИЛМИЙ ХАБАРЛАР	
Г.Ж. Аллаева. Ўзбекистон Республикаси энергетика корхоналарининг барқарор ривожланиши параметрларини аниқлашнинг эконометрик усуллари.	412
Ж.Э. Сафаров, Ш.А. Султанова, А.С. Понасенко. Самарали диффузия коэффициентини ва фаоллашув энергиясини ҳисоблаш.	422
А.Д. Рахматов, Р.К. Қобилов, Х.Н. Мамадиев. Электроионизатор иш режимларига разряд оралиғи параметрлари таъсирини ўрганиш.	433
БИЗНИНГ ЮБИЛЯРЛАР	
Р.А. Сытдыков (80 ёшлигига).	440

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

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

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ

Журнал основан
в 2002 году

Издаётся 4 раза
в год

2023 г.

№ 4

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. (Белоруссия)

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

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

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

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ 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

О.У. Салимов. Наука несет свет и мудрость обществу.	18
К.Р. Аллаев. Перспективы развития энергетики Узбекистана до 2035 года и далее.	25
О.В. Радинова, Р.А. Ситдилов, С.Б. Талипова. О режимах электрических сетей с микросетями.	37
Т.Ш. Гайбиров, Б.Х. Муродов. Оптимизация режимов энергосистем с выравниванием графиков нагрузок на основе аккумуляции энергии.	51
М.И. Ибадуллаев. Феррорезонанс на частоте субгармоник в трехфазных электроферрорезонансных цепях.	60
М.К. Бобожанов, С.К. Махмутханов. Анализ методов оценки влияния нарушений качества напряжения со стороны потребителей.	71
В.В. Цыпкина, В.П. Иванова, М.Н. Козлитин, А.А. Иванов, А.Р. Аширов. Интеллектуальная информационная система мониторинга надежности и безопасности систем производства кабельного оборудования.	80
Н.Б. Пирматов, С.Э. Шерназаров. Неисправности в системе водяного охлаждения обмотки статора турбогенератора, применяемого на теплоэлектростанциях и методы их устранения.	88
А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, И.В. Сотникова, Ж.М. Низамов. Энерготехнологический комплекс на базе детандер-генераторного агрегата на компрессорной станции.	97
А.И. Каршибаев, Х.Ш. Мурадов. Разработка математической модели расчета параметров заряда электрических накопительных устройств.	105
Ш.Б. Умаров. Качественный анализ схем автономных инверторов с отсекающими вентилями.	112
В.П. Иванова, В.В. Цыпкина, Д.Н. Исамухамедов, А.У. Турабеков. Единая система управления технологическим процессом волочения, как часть цифровой трансформации производства кабельно-проводниковой продукции.	119
Э.Г. Усманов. Тиристорный умножитель частоты с ферромагнитной цепью управления ПГУ Тахиаташской теплоэлектростанции.	126
Т.Ф. Махмудов. Выбор настроечных параметров регуляторов турбин и генераторов ПГУ Тахиаташской теплоэлектростанции.	132
Х.А. Саггаров. Преобразователь трехфазного тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями.	140
Ғ.О. Холбоев, Б.Ш. Нарзуллаев. Разработка диагностической модели технического состояния ротора на основе анализа электрических параметров элементов ротора электродвигателя.	145
М.Т. Махсудов. Управление и контроль реактивной мощности асинхронного двигателя на основе технологии “Cloud computing”.	153
Ф.М. Қодиров, М.Сапаев. Алгоритм проектирования автоматизированных систем управления в системах электроснабжения телекоммуникаций.	159
А.А. Пулатов, Н.З. Махмудов, О.А. Обидов, К.А. Бобониёзов. Управление тепловыми процессами электрических нагревательных печей сопротивления на предприятиях Республики Узбекистан.	166
Ш.Дж. Джураев, С.Т. Исмоилов, Д.Ш. Хушвақтов, Р.Ч. Каримов. Исследование качества электроэнергии в системе электроснабжения потребителей напряжением 0,4 кВ	172
Ф.С. Исаков. Анализ методов диагностики синхронных двигателей.	183
Х.З. Назирова, О.З. Назирова. Оценка потерь электроэнергии в распределительных сетях 10/0,4 кВ.	189
ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	
М.А. Короли, Л.О. Низамова, Б.Б. Оппокхужаев. Внедрение когенерационных установок на теплоисточниках Республики.	198

Г.Н. Узakov, Ш.К. Яхшибоев, Ж.Д. Садыков, Т.Я. Хамраев. Исследование изменения температуры грунта и воздуха подземных плодовоовощехранилищах на основе компьютерной модели.	205
Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов, Ю.У. Абдуллабеков, А.И. Анарбаев. Проблемы водно-химических режимов систем охлаждения в конденсаторах турбин на ТЭС Узбекистан.	212
Ф.Ш. Умарджанова, Ш.С. Мавджудова. Математическое моделирование потока воды в системе рециркуляционного охлаждения тепловой электростанции.	217
Я.Д. Мухиддинова. Технология переработки и сушки семян подсолнечника.	228
Л.О. Низамова, С.Р. Ахматова. Разработка схемных решений ВПУ на основе интегрированных мембранных технологий для парогазовых ТЭС.	234
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	
Т.Х. Насиров, Ш.В. Хамидов. Снижение энергоёмкости производства – важнейший потенциал энергосбережения в Узбекистане на современном этапе.	246
Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадиров. Из опыта энергетическая обследования (энергоаудита) СП ООО «Agromir».	254
М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров. Оценка эффективности работы электрических сетей систем электроснабжения промышленных предприятий.	261
М.А. Короли, А.Р. Иванисова. Современные подходы повышения энергоэффективности зданий.	269
Н.Б. Пирматов, У.Н. Мирзаев. Анализ экономической эффективности энергосберегающих мероприятий с применением преобразователей частоты на вертикальных ленточных конвейерах, используемых в элеваторах предприятий по производству муки.	277
М.К. Бобожанов, Ю.О. Очилов. Изучение повышения эффективности потребителей, подключенных к дифференцированным тарифам, с использованием возобновляемых источников энергии.	285
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	
Н.Р. Авезова, А.М. Мирзабаев, Н.А. Матчанов, Н.Н. Далмурадова, М.Б. Шерматова. Гибридная мобильная солнечно-топливная электростанция с автоматизированным управлением режимами энергопотребления для непрерывного энергообеспечения индивидуальных абонентов.	292
М.Н. Турсунов, Х. Сабиров, М.М. Эшматов. Анализ работы фотоэлектрической системы водоподъёма и ее потерь из-за температуры, загрязнения, деградации с использованием теоретического и программного обеспечения PVsyst.	306
Г.Т. Дадаев, Ш.А. Султанова, Ж.Э. Сафаров. Теоретическое исследование использования солнечной энергии для получения сушеных продуктов.	318
Н.Р. Авезова, А.М. Мирзабаев, Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, М.Х. Дехконова. Разработка эффективных пассивных стратегий с учетом специфических биоклиматических условий региона.	327
Х.Ф. Зикриллаев, Т.Б. Содиков, Ю.М. Курбанов. Анализ эффективности солнечной панели снабженной системой очистки.	339
М.Н. Турсунов, Х. Сабиров, Т.З. Ахтамов, С.Ф. Тошпулатов. Влияние отражателя и теплоколлектора на электрические параметры фототермической батареи.	344
С.Ш. Махмудов. Формирование отражающих поверхностей солнечных концентраторов	351
НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ	
М.М. Туляганов, Ш.М. Атажиев. Дистанционный мониторинг утечек газа в помещениях с помощью мобильного устройства.	358
ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ	
М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, С.Р. Жураев, Абдуазиз уулу Абдурауф. Математические модели оптимальных режимов работы гидроэнергокомплексов с ГЭС и ВЭС.	363

О.Ё. Нурматов. Методика расчета параметров гидравлического удара насосных станций.....	371
Д.Т. Палуанов, Д.К. Оспанова, Д.А. Маматкулов, С.К. Гадаев, Ф.С. Саидов. Натурные исследования по оценке безопасности земляной плотины.....	378
М.М. Мухаммадиев, С.К. Гадаев. МикроГЭС с турбиной Банки для использования гидропотенциала в каналах.....	384
О.Х. Низамов, Ф.Т. Шадибекова. Использование водных ресурсов рек Узбекистана в народном хозяйстве и гидроэнергетике.....	390
И.Х. Любова. Дефицит водно-энергетических ресурсов и перспективы сотрудничества стран Центральной Азии.....	395
К.С. Джураев, Абдуазиз уулу Абдурауф, Э.Д. Исмаилов, А.Ш. Сайфутдинов. Обоснование создания ГАЭС на базе Каскада Урта-Чирчикских ГЭС.....	402
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ	
Г.Ж. Аллаева. Эконометрические методы определения параметров устойчивого развития энергетических предприятий Республики Узбекистан.....	412
Ж.Э. Сафаров, Ш.А. Султанова, А.С. Понасенко. Расчет эффективного коэффициента диффузии и энергии активации.....	422
А.Д. Рахматов, Р.К. Қобилов, Х.Н. Мамадиев. Исследование влияния параметров разрядного промежутка на режимы работы электроионизатора.....	433
НАШИ ЮБИЛЯРЫ	
Р.А. Сытдыков (80 лет).	440

**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. _____ №4

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: dots. 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)

WATER-ENERGY AND ECOLOGY 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: dots. 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

OO.U. Salimov. Science spreads light and wisdom to society.	18
K.R. Allaev. Prospects for energy development in Uzbekistan until 2035 and beyond.	25
O.V. Radionova, R.A. Sitdikov, S.B. Talipova. About the modes of electrical networks with microgrids.	37
T.Sh. Gayibov, B.Kh. Murodov. Optimization of power system modes with alignment of load schedules based on energy accumulation.	51
M.I. Ibadullaev. Ferroresonance at subharmonic frequencies in three-phase electroferroresonant circuits.	60
M.Q. Bobojanov, S.K. Makhmutkhanov. Analysis of methods for assessing the impact on voltage quality violations by consumers.	71
V.V. Tsyapkina, V.P. Ivanova, M.N. Kozlitin, A.A. Ivanov, A.R. Ashirov. Intelligent information system for monitoring the reliability and safety of cable equipment production systems.	80
N.B. Pirmatov, S.E. Shernazarov. Malfunctions in the water cooling system of the stator winding of a turbogenerator used in thermal power plants, and methods for eliminating them.	88
A.A. Mukolyants, A. D. Taslimov, I. V. Sotnikova, J. M. Nizomov. Energy technological complex based on an expander-generator unit at a compressor station.	97
A.I. Karshibaev, H.S. Muradov. Development of a mathematical model for calculating the charge parameters of electric storage devices.	105
Sh.B. Umarov. A qualitative analysis of circuits of autonomous inverters with cut-off valves.	112
V.P. Ivanova, V.V. Tsyapkina, D.N. Isamukhamedov, A.U. Turabekov. Unified system for control of the technological process of drawing, as part of the digital transformation of cable and wire products.	119
E.G. Usmanov. Thyristor frequency multiplier with ferromagnetic control circuit.	126
T.F. Makhmudov. Choice of tuning parameters for turbines and generators of CCP Takhiatash thermal power plant.	132
Kh.A. Sattarov. Three-phase current to voltage transducer with advanced functionality.	140
G.O. Xolboev, B.Sh. Narzullaev. Development of a diagnostic model of the technical condition of the rotor based on the analysis of the electrical parameters of the electric motor rotor elements.	145
M.T. Makhmudov. Management and control of the reactive power of an asynchronous motor based on "Cloud computing" technology.	153
F.M. Kodirov, M. Sapaev. Algorithm for the design of automated control systems in the telecommunications power supply system.	159
A.A. Pulatov, N.Z. Makhmudov, O.A. Obidov, K.A. Boboniyozov. Management of thermal processes of electric heating resistance furnaces at enterprises of the Republic of Uzbekistan.	166
Sh.J. Juraev, S.T. Ismoilov, D.Sh. Khushvaktov, R.Ch. Karimov. Study of the quality of electricity in the power supply system for consumers with a voltage of 0.4 kV.	172
F.S. Isakov. Analysis of methods for diagnostics of synchronous motors.	183
XX.Z. Nazirova, O.Z. Nazirova. Assessment of electricity losses in 10/0.4 kV distribution networks.	189

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

M.A. Koroli, L.O. Nizamova, B.B. Oppqhojaev. Implementation of cogeneration plants at the heat sources of the Republic.	198
G.N. Uzakov, Sh.K. Yakhshiboev, Zh.D. Sadykov, T.Ya. Khamraev. Study of changes in soil and air temperature in underground fruit and vegetable storage facilities based on a computer model.	205
H.S. Isakhodjaev, Z.Yo. Khasanov, Yu.U. Abdullabekov, A.I. Anarbaev. Problems of water-chemical modes of cooling systems in turbine condensers at thermal power plants of Uzbekistan.	212

F.SH. Umardjanova, Sh.S. Mavjudova. Mathematical modeling of water flow in the recirculating cooling system of a thermal power plant.	217
Y.D. Mukhiddinova. Sunflower seed processing and drying technology.	228
L.O. Nizamova, S.R. Axmatova. Development of circuit solutions of the WPS based on integrated membrane technologies for combined power plants.	234
ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING	
T.Kh. Nasirov, Sh.V. Khamidov. Reducing the energy intensity of production is the most important energy saving potential in Uzbekistan at the present stage.	246
F.A. Khoshimov, K.Sh. Kadirov. From experience, energy inspection (energy audit) of JV Agromir LLC.	254
M.B. Khudayarov, B.S. Bobonazarov. Assessment of the efficiency of electrical networks of power supply systems of industrial enterprises.	261
M.A. Koroli, A.R. Ivanisova. Modern approaches to increasing energy efficiency of buildings	269
N.B. Pirmatov, U.N. Mirzayev. Analysis of economic effectiveness of energy saving measures using frequency converters on vertical belt conveyors used in elevators of flour production enterprises.	277
M.K. Bobojanov, Yu.O. Ochilov. Study of increasing the efficiency of consumers connected to differentiated tariffs using renewable energy sources.	285
ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES	
N.R. Avezova, A.M. Mirzabaev, N.A. Matchanov, N.N. Dalmuradova, M.B. Shermatova. Hybrid mobile solar-fuel power plant with automated control of energy consumption modes for continuous energy supply of individual subscribers.	292
M.N. Tursunov, Kh. Sabirov, M.M. Eshmatov. The theoretical and software analysis of the operation of water lifting photovoltaic system and its losses due to temperature, pollution and degradation using PVsyst.	306
G.T. Dadaev, Sh.A. Sultanova, J.E. Safarov. Theoretical study of the use of solar energy for the production of dried products.	318
N.R. Avezova, A.M. Mirzabaev, E.Y. Rakhimov, N.N. Dalmuradova, M.X. Dekhkonova. Development of effective passive strategies taken into account of the specific bioclimatic conditions of the region.	327
Kh.F. Zikrillayev, T.B. Sodiqov, Y.M. Qurbanov. Analysis of the efficiency of a solar panel equipped with a cleaning system.	339
M.N. Tursunov, Kh. Sabirov, T.Z. Axtamov, S.F. Toshpulatov. Influence of reflector and heat collector on electrical parameters of photothermal battery.	344
S.Sh. Makhmudov. Formation of reflective surfaces of solar concentrators.	351
OIL AND GAS. FUEL RESOURCES	
M.M. Tulyaganov, Sh.M. Atajiyev. Remote monitoring of gas leaks in premises using a mobile device.	358
WATER-ENERGY AND ECOLOGY PROBLEMS	
M.M. Mukhammadiev, K.S. Dzhuraev, S.R. Juraev, Abduaziz uulu Abdurauf. Mathematical models of optimal operating modes of hydropower complexes with HPP and WPP.	363
O.Yo. Nurmatov. Method of calculation of parameters of hydraulic shock of pumping stations	371
D.T. Paluanov, D.K. Ospanova, D.A. Mamatkulov, S.K. Gadaev, F.S. Saidov. Field research to assess the safety of an earth dam.	378
M.M. Mukhammadiev, S.K. Gadaev. Micro HPP with turbine Banks for using hydropotential in channels.	384
O.Kh. Nizamov, F.T. Shadibekova. Use of water resources of rivers of Uzbekistan in the national economy and hydropower engineering.	390
I.X. Ayubova. Deficiency of water and energy resources and prospects for cooperation between Central Asian countries.	395
K.S. Dzhuraev, Abduaziz uulu Abdurauf, E.D. Ismailov, A.Sh. Sayfutdinov. Justification for the creation of a PSPP based on the Urta-Chirchik HPP Cascade.	402

SCIENTIFIC REPORTS

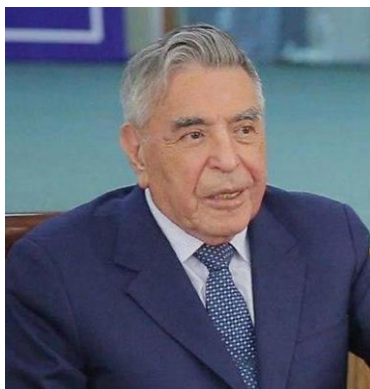
G.J. Allaeva. Econometric methods for determining the parameters of sustainable development of energy enterprises of the Republic of Uzbekistan. 412

J.E. Safarov, Sh.A. Sultanova, A.S. Ponasenko. Calculation of the effective diffusion coefficient and activation energy. 422

A.D. Rakhmatov, R.K. Kobilov, Kh.N. Mamadiev. Study of the influence of the parameters of the discharge interval on the operating modes of the electric ionizer. 433

OUR ANNIVERSARIES

R.A. Sitdikov (80 years old). 440



**ИЛМ-ФАН ЖАМИЯТГА НУР,
ЗИЁ ТАРАТАДИ**

**Ўзбекистон Республикаси Фанлар
академияси тўғрисида
(Ўзбекистон Республикаси Фанлар
академиясининг 80 йиллигига
бағишланади)**

О.У. Салимов

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2023 йил 9 сентябрдаги “Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси ташкил топганлигининг 80 йиллигига бағишланган юбилей тадбирларини ўтказишнинг ташкилий чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарорида белгилаб берилган вазифаларни амалга ошириш мақсадида юртимизда катта амалий ишлар олиб борилмоқда. Мазкур тантаналарни республика ва халқаро миқёсда нишонлаш арафасида турибмиз.

В целях реализации задач, определенных в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 9 сентября 2023 года «Об организационных мерах проведения юбилейных мероприятий, посвященных 80-летию со дня создания Академии наук Республики Узбекистан», в нашей стране проводится большая практическая работа. Мы собираемся отметить эти торжества в национальном и международном масштабе.

In order to implement the tasks defined in the decision of the President of the Republic of Uzbekistan dated September 9, 2023 “On the organizational measures of the jubilee events dedicated to the 80th anniversary of the establishment of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan”, great practical work is being carried out in our country. We are about to celebrate these celebrations on the national and international scale.

Илм-маърифатга юксак эътибор келажакка пойдевор қўйишнинг муҳим омилдир. Таълимга кўп нарса боғлиқлигини ҳаётнинг ўзи кўрсатиб турибди. Дунёнинг илғор ва етук илмий муассасалари билан алоқаларни йўлга қўйиб, ҳамкорликда иш юритаётган Ўзбекистон Фанлар академиясининг фаолияти кенг камровлидир. Илмий тадқиқот институтлари, олий таълим муассасаларининг илмий фаолияти билан бир қаторда ишлаб чиқариш корхоналари ҳам бор. Инсон илм кадрини меҳнати туфайли англайди. Илм-маърифат давлат, жамият ва одамларга хизмат қилсагина аҳамият касб этади.

Давлатимиз раҳбарининг 2016 йил 29 декабрдаги “Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг академиклари фаолиятини янада такомиллаштириш ва

рағбатлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Фармонининг биринчи бандида “Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси, Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2017 йил 1 январдан Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг ҳақиқий аъзоларини Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Хайъати ва тегишли фан ихтисосликлари бўйича фаолият кўрсатган ҳақиқий аъзоларининг тавсиясига асосан Ўзбекистон Республикаси Президенти томонидан тасдиқланиши тартибини жорий этиш” ҳақидаги таклифи маъқулланиб, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 29 декабрдаги “Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг ҳақиқий аъзоларини тасдиқлаш тўғрисида”ги Фармонига мувофиқ, Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг ҳақиқий аъзолигига фанлар бўйича: физика-математика (7та), кимё (4та), биология (3та), техника (3та), қишлоқ хўжалиги (1та), тарих (2та), иқтисодиёт (2та), филология (2та), юридик (1та), педагогика (1та), тиббиёт (6та), санъатшунослик (1та) – жами 32 нафар олимимиз академиянинг ҳақиқий аъзоси этиб тасдиқланди. Илм-маърифат аҳли ва халқимиз буни самимий қабул қилди.

Юртимиз азалдан илм-маърифат маскани, дунё илм соҳиблари назаридаги ўлка. Фаннинг тараққиёт томирлари кенг илдиз отиб, Шарқ ва Ғарбни лол қолдирган Юсуф Хос Ҳожиб, Маҳмуд Кошғарий, Абу Райҳон Беруний, Ибн Сино, Ал-Розий, Ал-Хоразмий, Ат-Термизий, Аҳмад Фарғоний, Алишер Навоий, Камалиддин Бехзод, Заҳриддин Муҳаммад Бобур сингари ватандошларимиз жаҳон илм хазинасига муносиб улуш қўшгани ҳеч кимга сир эмас.

Марказий Осиё ҳудудида бир маҳаллар гуллаб-яшнаган улкан илм-маърифат, аждодларимиз мероси ўз кадр-қимматини Янги Ўзбекистон шароитида қайтадан топиб, илмга қизиқиш қайта уйғонгани ўз натижаларини бера бошлади. Минтақамизда математика, геометрия, география, астрономия, кимё, физика, тиббиёт, тарих, адабиёт ва бошқа соҳалар Биринчи ва Иккинчи Ренессанс даврларида бекиёс ривожланган. Қадим юртимиз билан Рум, Юнонистон, Шом, Ирок, Бағдод, Ҳиндистон ўртасида илмий-маърифий, маданий алоқалар мунтазам йўлга қўйилган. Буюк бобомиз Мирзо Улуғбек расадхонаси ҳамон жаҳон халқи ва илм-маърифат аҳлининг ҳамда илмсевар ихлосмандларнинг диққат-эътиборини тортиб келади. Баъзан ҳаёлимдан илмпарвар, улуғ шоир Фурқатнинг: “Кимки, илм-фандан хабардор бўлса, уни халқ қадрлайди ва ҳурмат қилади. Жаҳон илм-фан нурлари билан ёруғ бўлади. Кўнгил билим билан соф бўлади. Кимнинг қўлида шамчироқ бўлса, унинг йўли қоронғида ҳам хатарли бўлмайди”, деган сўзлари ўтади. Ҳа, бу ҳақ гап экани бугунги кунда 80 йиллигини нишонлаётган Фанлар академияси мисолида ҳам ўз тасдиғини топмоқда.

Ўзбекистон ҳудудининг турли жойларидаги расадхона, обсерватория, илм муассасаларида илм-маърифат йўналишида олиб борилаётган ишлар кўлами бугунги кунда жуда кенгайиб кетганини кўриш мумкин. Йиллар ортидан йиллар ўтиб, илм-маърифат соҳасида илмий тадқиқот муассасалари тармоғи ва илмий марказлари шаклланди. Илмий мутахассисларнинг сони кўпайиб бормоқда. Одамларнинг илм-маърифатга қизиқиши кучайиши билан олимлар масъулияти ҳам ошиб бориши давр тақозосидир.

Академия ташкил этилишига назар ташланса, ўша пайтларда республикада илмий тадқиқот ишлари бўйича масъулият ягона ташкилотга бирлаштирилиши ҳамда мувофиқлаштирилиши зарур эди. Буни инобатга олиб, 1932 йил республикада Фан кўмитаси таъсис этилди. Орадан саккиз йил ўтиб, 1940 йилда собиқ иттифоқ Фан кўмитаси Ўзбекистон филиали ташкил қилинди. Ўзбекистон Республикасининг илмий тадқиқот маркази вужудга келтирилди.

Унинг тизимига геология, кимё, ботаника, сув хўжалиги муаммолари ва вақт ўтиб билан нергетика, тил ва адабиёт, тарих ва археология институтлари, шунингдек, тупроқшунослик, зоология, физика-математика секторлари, Тошкент астрономия расадхонаси, Қашқадарё вилоятидаги (Китоб кенглик станцияси билан ҳамкорликда) иқтисодий тадқиқотлар ва харитаграфия бюроси киритилди. Республикамизда 1943 йили 4 ноябрда ЎзФАН асосида Ўзбекистон Фанлар академияси (ЎзФА) ташкил қилинди. Оғир йиллар бўлишига қарамай, илм-фанни ривожлантириш учун ҳукумат томонидан жиддий эътибор қаратилди.

Юртимизда математика мактабига асос солган олим Т.Н.Қори-Ниёзий Ўзбекистон Фанлар академияси раҳбарлигини бошлаб берди. Академиянинг илк йиғилишида Т.Н.Қори-Ниёзий президентликка сайланди. Ўша даврнинг манбаларида қайд этилишича, академиянинг таркибида 11та ҳақиқий, 18та мухбир, учта фахрий аъзо бўлган. Шунингдек, мавжуд 19та илмий тадқиқот институти, 23та илмий марказ, 11та музей ва бта бош-қа илмий ташкилот ва муассасаларда икки юз ўн нафар илмий ходим, шу жумладан, йигирма саккиз нафар фан доктори, саксон нафар фан номзоди илмий фаолият олиб борган.

Ўзбекистон Фанлар академияси илмий муассасалари тадқиқот тармоқлари бўйича асосан 5та бўлим бирлаштирилиб, мунтазам фаолият юритган. Булар: физика-математика фанлари; механика ва бошқариш жараёнлари; информатика; кимё-технология ва ер тўғрисидаги фанлар; биология фанлари; ижтимоий-гуманитар фанлари бўлимларидан иборат бўлган. Шу жумладан, Ўзбекистон Фанлар академияси тизими таркибида Қорақалпоғистон филиали фаолият кўрсатади. 1959 йилдан бошлаб академия таркибида 3та ишлаб чиқариш бирлашмаси, 38та илмий тадқиқот муассасаси, шундан 34таси пойтахт Тошкентда бўлиб, марказий кутубхона, бта лойиҳалаш ташкилоти, битта ихсослашган хўжалик ҳисобидаги институт, 3та тажриба корхонаси ва “Фан” нашриёти изчил фаолият юритган. Академия йил сайин ички имкониятлардан келиб чиқиб, тараққиёт сари одимлади. Мустақилликка эришилган йилдан бошлаб, 1991 йилги манбалар бўйича Фанлар академияси таркибида 48 нафар ақдемик, 95 нафар мухбир аъзо ҳамда 4055 нафар илмий ходим (358 нафари фан доктори, 2047 нафари фан номзоди) фаолият юритганини манбалар орқали биламиз. Фанлар академиясида ўша даврда 11та илмий ва битта илмий-оммабоп журнал чоп этилган.

Академия ташкил этилиши билан ўзимиздаги ва унинг чет элларидаги аъзолари, шунингдек, унинг таркибидаги илмий ходимлар ва соҳа мутахассислари бир жойга тўпландилар. Уларнинг олдига қўйилган аниқ мақсад ва вазифалар мамлакатимизда халқ ва қишлоқ хўжалиги, илм-маърифат, фан-техника йўналишига

тааллуқли бўлган соҳаларда давлат сиёсатини амалга оширилишини ҳар жиҳатдан таъминлашдан иборат эди.

Айниқса, давлат ва жамият тараққиётини ҳамда халқ фаровонлигини кўзлаб, соҳани олис истиқболли режалар бўйича фундаментал илмий тадқиқот ва етук технологиялар билан мустаҳкамлаш ҳамда ривожлантиришнинг устувор стратегиясини аниқ белгилаб, амалий ишларни юритиш долзарб масалага айланди. Республикамизда халқ ва қишлоқ хўжалиги, чорвачилик, тиббиёт, маданият, энергетика ва автоматика, математика, химия, Ўрта Осиё геология ва минерал хом ашёси, ўрмон хўжалиги, деҳқончилиги ва бошқа соҳаларга боғлиқ институтлар фаолияти йўлга қўйилди. Ўша даврдан бошлаб халқ ва қишлоқ хўжалиги соҳалари ҳамда ишлаб чиқариш саноати фаолиятига муносабат ўзгариб, муаммо ва ечимларга илмий жиҳатдан ёндашишга киришилди. Академия ташкил қилиниб, орада ўтган йиллар мобайнида нафақат ўзимизда, балки жаҳон фан-техникасининг турли соҳаларида улкан ютуқларга эришган академик ва илм-маърифат соҳибларимиз етишиб чиқди. Т.Н.Қори-Ниёзий, Т.А.Саримсоқов, Т.З.Зоҳидов, Ҳ.М.Абдуллаев, У.А.–Орифов, О.С.Содиқов, П.Қ.Ҳабибуллаев, М.С.Салоҳитдинов, Ш.Салихов каби фидойи олимларимиз Фанлар академиясига етакчилик қилдилар. Ҳозирги кунда академик Бехзод Йўлдошев Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Президенти лавозимида самарали фаолият олиб бормоқда.

Ўша даврдаги дунё тан олган олимларимизнинг ихтиро ва ишланмалари ҳозирги кунга қадар давлат ва жамиятга хизмат қилиб келаётгани ҳамамизга маълум. Уларнинг қаторида яна кўплаб номларни тилга олиш мумкин. Собиқ иттифок даврида ҳам Фанлар академияси қошида йирик илмий-амалий ишлар амалга оширилгани ҳам сир эмас.

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси академиклари, академия муҳбир аъзолари фаолиятига эътибор берсак, уларнинг буюк хизматлари нафақат жамият, давлат ва халқ учун, қолаверса, инсоният учун фойдали илмий ишлар эканини биламиз. Ўзбекистонлик Фанлар академиясининг аъзолари ҳозиргача 180 нафардан зиёд эканини манбалар тасдиқлайди. Ўзбекистон Фанлар академияси фидойилари ҳар бир даврда илм-фанга қўшган хиссалари билан жаҳон майдонида ўз мавқеига эга бўлганини дунё илм аҳлидан тортиб, илм кадрини биладиган оддий инсонларгача эътироф этиб келганлар.

Собиқ иттифок даврида илм-фан соҳасида ўзбек олимларининг ўзига хос нуфузи ва мавқеи дунёда сарбаланд эди. Уларнинг ҳар бирининг номи жаҳон минбарларида баралла янграб турганини инкор этиб бўлмайди. Орадан йиллар ўтди. Ҳар бир республика ўз давлат мус-тақиллигига эришди. Маълум муаммо ва инқирозлар юз берди. Бошқа республикаларда ҳам Фанлар академиялари инқироз ва қийинчиликларга дуч келди. Жумладан, бошқа соҳалар каби республикамиз Фанлар академиясида ҳам шундай ҳолат рўй берди. Бунинг олдини олиш учун кейинги йилларда давлатимиз раҳбари эътибори билан маълум чоралар кўрилиб, жиддий ишларга киришилди. Бугун орамизда илм-фан соҳасида фаолият олиб бораётган академикларни ҳам дунё олимлари ҳурмат билан тан олиб келишмоқда. Академия таркибидаги илмий муассасалар ўша даврларда Қозоғистон, Қирғизистон,

Туркменистон, Тожикистон, Россия, Украина, Беларусь, Арманистон, Грузия, Озарбайжон каби собиқ республикалар ва АҚШ, Япония, Германия, Англия, Франция каби хорижий давлатлар фанлар академиялари, таълим муассасалари билан мунтазам илмий, техника йўналишларида ҳамкорлик қилиб келган. Айни пайтда Ўзбекистонда хорижий мамлакатлар билан халқаро илмий ҳамкорликни ривожлантириш, халқаро миқёсда республикамиз илм-фани нуфузини юксалтириш учун амалий ишлар қилинмоқда. Мамлакатимизда фидойилик билан меҳнат қилаётган олимлар ёш авлодга илм-маърифат, илму зиё тарқатиб келмоқда. Академиклар С.Искандаров, Ш.Аюбов, Р.Мўминов, С.Неъматов, А.Аляви, Т.Арипова, Ф.Иноятова, Н.Юсупбеков, С.Баҳромов, Қ.Аллаев, А.Мамадалимов, Қ.Абдурахмонов, А.Саъдуллаев, А.Асқаров, С.Зайнобиддинов, Б.Зарипов, А.Аъзамов, А.Саидов, Р.Жўраев, Ф.Назиров, Х.Игамбердиев, М.Мирсаидов, А.Эгамбердиев, И.Абдурахмонов, С.Ғуломов, Р.Қурбонов ва бошқаларнинг илм саҳнасида ўз ўринлари бор.

Юртимизда турли соҳадаги илм соҳибларининг номларини ҳурмат билан эътироф этиш фахрлидир. Илм соҳиблари бўлган дўстларим билан гоҳида учрашиб, гоҳида телефон орқали суҳбатлашиб тураман. Суҳбатимиз дунё ва юртимиздаги шиддатли ўзгаришлар, юксалиш босқичи, илм-маърифат, маданият ва бошқа мавзуларда кечади. Бу академикларимиз илм-фан ривожини таъминлаб, инновацион жараёнларни ҳаётга татбиқ этиб, амалга оширилаётган ислохотларнинг теран маъно ва моҳиятини, бугунги даврдаги илм-фан ва технология ютуқларини ёшларга етказишда муносиб хизмат қилиб келишмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президенти Шавкат Мирзиёевнинг 2016 йил 30 декабрда мамлакатимиз илмий жамоатчилиги вакиллари билан учрашувидаги маърузасида фахр-ифтихор билан: “Мен доимо зиёли, олим, ижодкор инсонлар билан суҳбатлашишга интиламан ва бундай мулоқотларни ҳамиша соғинаман. Нега десангиз, олимлик Аллоҳ нурини солган улуг бир мартаба. Бу мартабадан жамиятнинг бутун вужудига нур, зиё таралади. Олимларнинг суҳбатидан инсон ўзига бекиёс маънавий бойлик олади, қалб кенглиklarини, тафаккур теранлигини ҳис қилади”, деган пурмаъно сўзлари ҳар қандай кишини тўлқинлантириб юбориши табиий.

Юртбошимиз мазкур йиғилишда республика ижтимоий-иқтисодий ривожиди илм-фаннинг бекиёс нуфузи ғоят юксак ва аҳамиятли эканини таъкидлаб, бу борада ҳукумат биринчи навбатда Фанлар академияси ҳамда салоҳиятли олимларга ишониб, уларга таяниши, фан ва ишлаб чиқаришда ҳамкорлик нақадар зарурлигини кайд этиб ўтганди.

Кейинги йилларда Янги Ўзбекистонда илм-фан соҳаларига кенг кўламли йўллар ва имконият эшиклари очиб берилди. Фанлар академияси қайта жонланди. Бугун республикамизда математика, физика, астрономия, кимё, география, геология, биология, қишлоқ хўжалиги, тиббиёт, иқтисодиёт, фалсафа, педагогика ва психология, тарих, адабиётшунослик, тилшунослик, ҳуқуқшунослик, санъатшунослик сингари фанлар, шунингдек, истиқлол даври адабиёти қисқа давр ичида барча фан ва соҳалар қаторида ривожланиб бормоқда. Айниқса, фундаментал,

амалий тадқиқотлар ва инновацион ишланмалар, илмий лойиҳалар амалга оширилиб келинаётганига гувоҳи бўлиб турибмиз.

Фанлар академияси таркибидаги ташкилот, муассасалар илмий ишлаб чиқариш корхона, илмий текшириш муассасалари билан ҳамкорликда иш олиб бориши самарали натижаларга йўл очди. Шунингдек, ёш тадқиқотчи ва олимларимиз халқаро илмий ҳамкорликдаги лойиҳаларда фаол иштирок этиб, улкан ютуқ ва натижага эришиш учун интилаётир.

Президентимизнинг Фармони билан тасдиқланган Ўзбекистон Республикаси олий таълим тизимини 2030 йилгача ривожлантириш концепцияси муҳим аҳамиятга молик. Унда таълим хизматлари турларини кўпайтириш ҳамда уларнинг сифат ва самардорлигини ошириш, таълимда инклюзив жараёнларни ҳар жиҳатдан ривожлантириш, адаптив технологияларни жорий қилиш каби масалалар ҳам назарда тутилган. Ўз навбатида, концепцияни амалга оширишнинг йиллик “Йўл хариталари”да муҳим кўрсаткичлар эътиборга олинган. Юртбошимиз ҳар бир нутқида таълим, илм-маърифат ва тарбия хусусида сўзлаганида, албатта, биринчи гада сифат, самара ва натижадорлик эътиборга олинади. Ҳар бир қилинган саъй-ҳаракатнинг натижаси, реал ютуғи, яъни самараси сифатга боғлиқлигига урғу берилади.

Таълим сифатини ошириш Янги Ўзбекистон тараққиётининг ягона тўғри йўлидир. Республикамизда таълим жамият, давлат ҳамда инсон капитали ресурси тараққиётининг муҳим ва теран пойдевори ҳисобланади. Мамлакатимизда илм фидойиси бўлган мураббий-ўқитувчилар, изланувчан олимлар, илм соҳиблари келажакда илмий тадқиқот йўналишлари доирасида республикамизда ўз билими ва малакасини ошириб, ҳаётий тажрибани қўлга киритади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 30 августдаги “Ёшларни илм-фан соҳасига жалб этиш ва уларнинг ташаббусларини қўллаб-қувватлаш тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”, 2023 йил 3 июлдаги “Маъмурий ислохотлар доирасида олий таълим, фан ва инновациялар соҳасида давлат бошқарувини самарали ташкил қилиш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарорлари билан Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузурида Ёшлар академияси фаолият юрита бошлагани улкан манзиллар сари йўл очади. Ёшлар академиясига ўзларининг инновацион лойиҳалари ва ғояларига эга иқтидорли ёшлар ва талабалар, 40 ёшгача бўлган олимлар ва тадбиркорлар жамоа шаклида танлов асосида қабул қилинади. Ёшлар академияси платформалари “Ғоялар генераторлари”– Ёшлар академиясининг асосий йўналишларига тегишли бўлган маълум бир муаммонинг ечимига қаратилган инновацион ғояга эга жамоалар платформаси ҳисобланади. “Стартаплар”, “Бизнес вакиллари”, “Бўлажак академиклар” шулар жумласидандир. Шу ўринда айтиш жоизки, салоҳияти етук ёшлар академия аъзоллигига қабул қилиниши ўрнатилган тартиб ва қоидаларга асосланиб амалга оширилади.

Янги Ўзбекистонда Учинчи Ренессанс пойдеворини яратиш замонавий ишлаб чиқариш ва илм-фан ҳамда технологиялар яратиш, рақобатбардош, сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни ривожлантириш билан бевосита боғлиқ. Бу

олимларимиздан катта масъулият талаб этади. Инсонни изланиш, меҳнат қилиш янги манзилларга чорлайди. Барча муассасаларга босқичма-босқич янги технология кириб келиши тараққиётнинг миллий юксалишидан дарак бермоқда. Эски тизимни даврнинг шиддатли оқими инкор этишини ҳаётнинг ўзи кўрсатди. Янги илмий ишлар порлоқ келажакка фақат ундаб қолмай, фаровон яшаш учун муҳим омил бўлиши шубҳасиздир.

*“Ўзбекистон адабиёти ва санъати” газетасининг
2023 йил 1 декабрь сонидан олинди*

УДК 620.9

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ УЗБЕКИСТАНА ДО 2035 ГОДА
И ДАЛЕЕ

К.Р. Аллаев

Мақолода Ўзбекистон ёқилги-энергетика мажмуасининг (ЁЭМ) 2035 йил ва ундан кейинги давр учун кутилаётган параметрларининг башоротланган кўрсаткичлари келтирилган. Башоратлаш хозирги замон усуллари - нейрон технологияси ва аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усули асосида ҳисобланган. Ўзбекистон ЁЭМ структурасининг ҳар хиллигини ўзгартириши масаласининг муҳимлиги таъкидланган ва бу жараён давлат иқтисодиёти тармоқларининг, ҳамда аҳолини электр энергияси билан таъминлашда алоҳида ўрин тутиши уқтирилган. Келгусида атом ва қайта тикланувчи энергия (ҚТЭ) манбаларининг биргаликда қўллаш, Ўзбекистон ЁЭМ ривожланишининг асоси эканлиги кўрсатилган. Бундай жараён жаҳон энергетикаси ривожланишида ҳам кузатилаётгани кўрсатилган. Бу жараёнда ҚТЭнинг давлат энергетика балансидаги ўрни (25-30) %дан ошмаслиги кўрсатилган, акс ҳолда энергосистема ҳолатининг бошқаришда қийинчиликлар пайдо бўлиши, унинг иқтисодиёти оғирланиши ва бошқа салбий кўрсаткичлар бўлиши мумкинлиги кўрсатилган. Атом энергетикаси электр ишлаб чиқаришда базавий бўлгани учун, станциянинг қурилишини тезлаштириши масаласи қўйилган. Шу ҳолда, нафақат арзон электр энергияси ишлаб чиқилади, балки Ўзбекистонда угеродсиз электр энергиясининг ишлаб чиқариши малаласи ҳам ечилиши кўрсатилган. Бундай стратегик масалаларни ечиш, ушбу масалага доир бўлган Ўзбекистон Кунунларининг, Президент Қарорларининг амалга ошириши орқали эришилади, энергетиканинг ривожланиши ва давлат энергетика ҳавфсизлигини таъминлайди.

Калит сўзлар: ёқилги-энергетика мажмуаси, прогнозлаш, нейрон технологияси, аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усули, электр энергияси, қайта тикланувчи энергия манбалари.

В статье приведены прогнозные данные развития топливно-энергетического комплекса Узбекистана до 2035 года и далее. Прогнозы выполнены на основе современных методов – теории нейронных технологий и метода группового учета аргументов. Отмечается необходимость диверсификации структуры энергетического баланса страны, что повышает надежность энергоснабжения отраслей экономики государства и населения страны. Показывается, что совместное применение атомных (АЭС) и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является основой развития топливно-энергетического комплекса Узбекистана так же, как и мировой энергетике. Показано, что доля возобновляемых источников энергии в общем балансе по энергосистеме должна быть не более (25-30) %, из-за усложнения режимных, финансовых и других вопросов. Отмечается необходимость ускоренного строительства базового

источника электроэнергии - атомной электростанции, что с наряду с выработкой относительно дешевой электроэнергии от ВИЭ обеспечивает переход к углеродно-нейтральной энергетике. Реализация программных задач, вытекающих из Законов РУз и Указов Президента Республики Узбекистан, обеспечат развитие энергетики, энергетическую безопасность и устойчивость развития государства.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, прогнозирование, нейронные технологии, методе группового учета аргументов, электроэнергия, возобновляемые источники энергии.

The article provides forecast data for the development of the fuel and energy complex of Uzbekistan until 2035 and beyond. The forecasts were made on the basis of modern methods - the theory of neural technologies and the method of group accounting of arguments. The need to diversify the structure of the country's energy balance is noted, which increases the reliability of energy supply to the sectors of the state's economy and the country's population. It is shown that the joint use of nuclear and renewable energy sources is the basis for the development of the fuel and energy complex of Uzbekistan, as well as the world energy sector. It is shown that the share of renewable energy sources in the overall balance of the energy system should be no more than (25-30) %, due to the increasing complexity of regime, financial and other issues. The need for accelerated construction of a basic source of electricity - a nuclear power plant - is noted, which, along with the generation of relatively cheap electricity, ensures a transition to carbon-neutral energy. The implementation of program objectives arising from the Laws of the Republic of Uzbekistan and the Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan will ensure the development of energy and energy security and the sustainability of the development of the state.

Key words: fuel-energy complex, forecasting, neural technology, method of group accounting of arguments, electricity, renewable energy sources.

Главной целью энергетической политики и высшим приоритетом развития энергетики Узбекистана на период до 2030 года и далее, является устойчивое энергообеспечение экономического роста и повышение качества жизни населения на основе максимально эффективного использования имеющегося производственного и научно-технического потенциала отрасли.

Электроэнергетика является базовой отраслью экономики Узбекистана, стратегически важной для государства. Поэтому вопросы развития энергетики всегда находятся в центре внимания руководства республики и решаются последовательно.

За последние годы в Указах и Постановлениях Президента и Правительства поставлены и решаются следующие задачи: внедрение в энергетiku Узбекистана современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий [1], дальнейшее развитие возобновляемой энергии (ВИЭ) [2], [3,4], утверждены «Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы» [910], «Концепция развития атомной энергетики Узбекистана» [5], стратегия дальнейшего развития и реформирования электроэнергетики Республики Узбекистан

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

[6]. Поставлены задачи по развитию эффективности производства угольной промышленности и по оптимальному расходованию водных ресурсов [1], уделяется внимание экологии энергетики и использованию твердых бытовых отходов [7-10]. Особое внимание придается развитию науке о Земле и совершенствованию системы организации геологоразведочных работ по увеличению добычи нефти и природного газа [11] и др.

Узбекистан в последние годы показывает устойчивый темп роста ВВП, с ежегодным приростом 5-8%. В перспективе предусматривается сохранение тенденции ежегодного прироста ВВП на достигнутом уровне, с реализацией мер по созданию новых крупных производств, развитию малого и среднего бизнеса, индивидуального предпринимательства, а также транспортной инфраструктуры. Эти обстоятельства потребуют адекватного роста энергопотребления в производственном секторе. К тому же, устойчивый рост численности населения и уровня его доходов, также приведет к увеличению энергопотребления в бытовом секторе.

На рис.1 приведена прогнозная характеристика динамики роста населения Узбекистана.

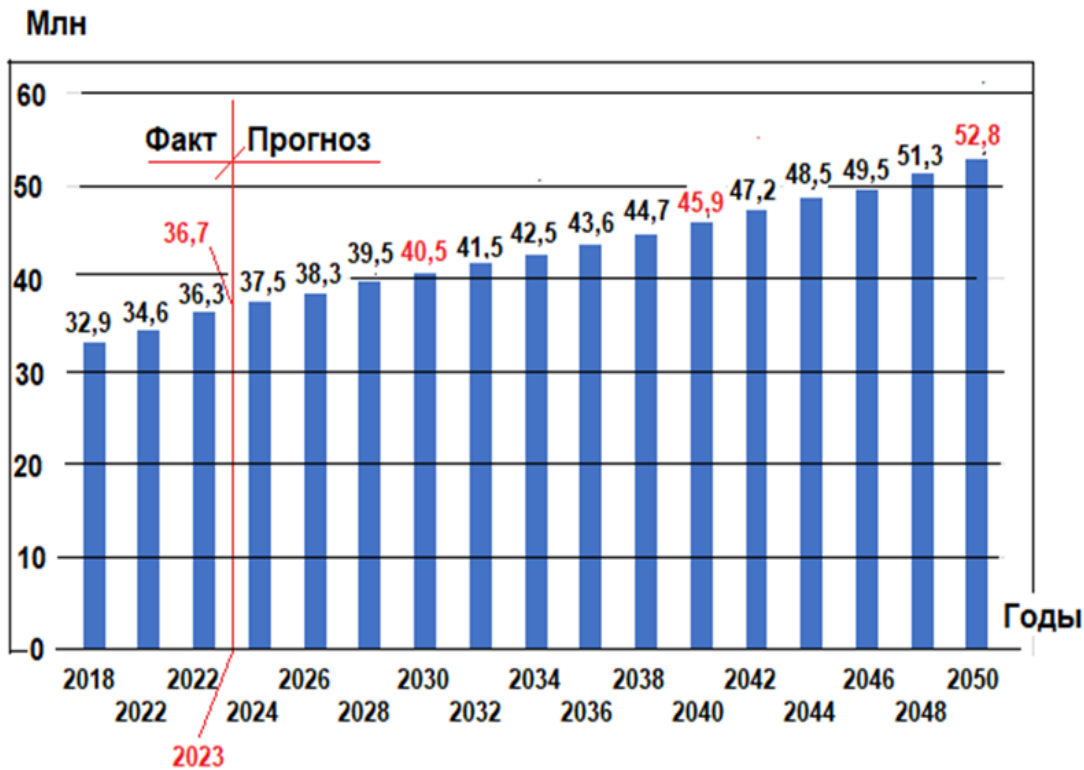


Рис.1. Прогноз динамики роста населения Узбекистана (прогноз автора)

Перед энергетиками Узбекистана поставлены грандиозные задачи – к 2030 году довести выработку электроэнергии до более чем 120 млрд. кВт·ч, что почти в

два раза больше, чем выработка электроэнергии в 2022 году - 77 млрд. кВт·ч и уменьшить условный расход топлива на выработку единицы электроэнергии.

Результаты прогноза параметров энергосистемы и перспектив развития энергетики Республики Узбекистан до 2035 года и далее, на основе современных методов прогнозирования на средне- и долгосрочные перспективы, в частности, роста населения Узбекистана, установленной мощности энергосистемы Узбекистана, производства и потребления электроэнергии, природного газа, изменения удельного расхода топлива по энергосистеме республики приведены ниже.

Полученные результаты прогнозирования основаны на методах Группового учета аргументов (МГУА) и нейронных технологий [12-18].

Одним из важнейших параметров является прогноз потребления электроэнергии населением Узбекистана. На рис.2 приведена данная характеристика. Исходные статистические данные здесь и далее предоставлены Минэнерго Республики Узбекистан.

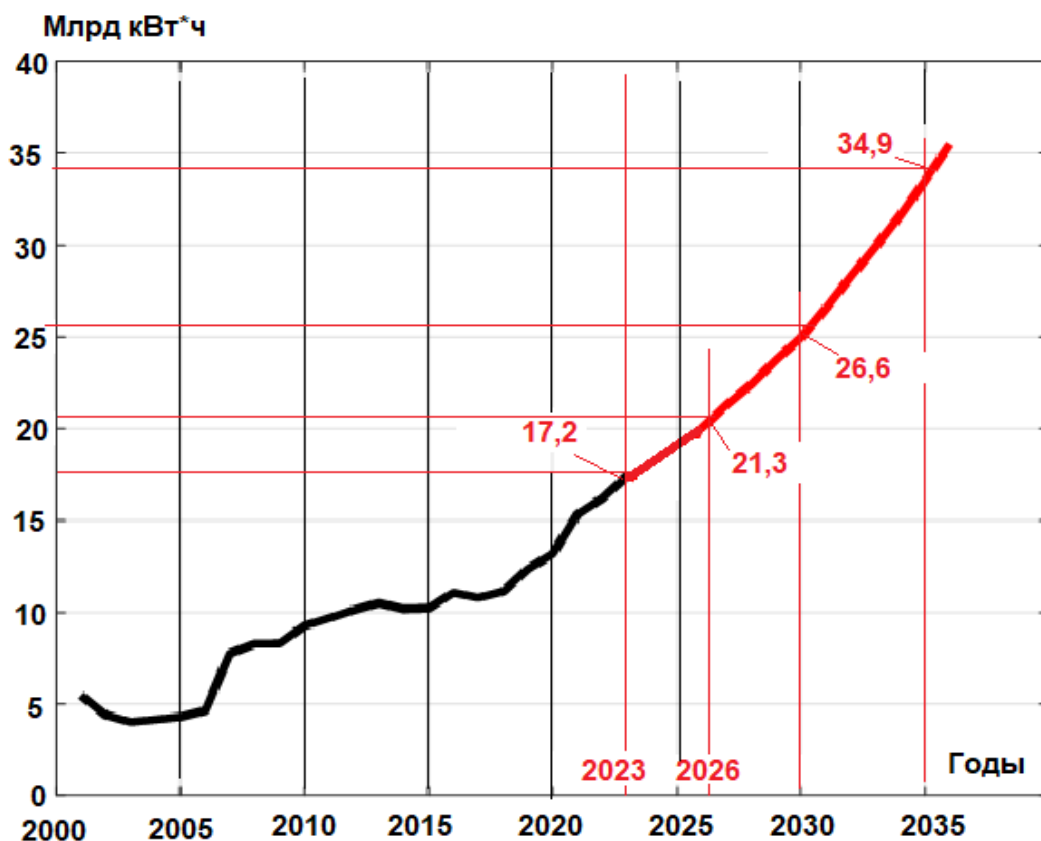


Рис.2. Прогноз роста потребления электроэнергии населением Узбекистана (прогноз автора)

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Интегрированным показателем эффективности производства электроэнергии является величина удельного расхода топлива по энергосистеме Узбекистана. На рис.3. приведена его прогнозная характеристика.

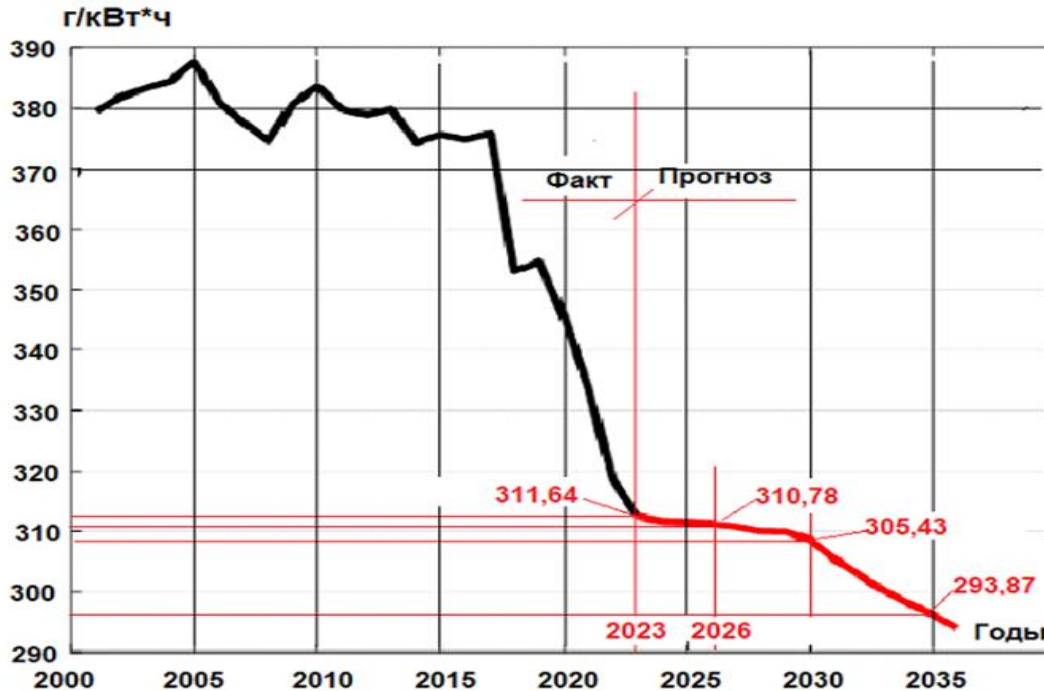


Рис.3. Прогноз динамики изменения удельного расхода топлива по энергосистеме Узбекистана (прогноз автора)

На рис.4. приведена прогнозная характеристика потребления электроэнергии промышленностью Узбекистана.

Улучшение социальных условий населения Узбекистана и развитие промышленности и отраслей экономики государства зависит от их обеспеченности природным газом. К сожалению, в последние годы производство природного газа сокращается, что является естественным процессом, так как природные запасы ограничены. В связи с этим необходимо отметить, что заключенный экономический союз между Узбекистаном, Казахстаном и Россией, позволит улучшить обеспеченность республики газом [20]. Эксперты полагают, что объемы составит около 2 млрд куб. м в год. Ровно столько нужно Узбекистану для покрытия дефицита энергопотребления в зимний период. Узбекско-российское совместное предприятие ООО Gazli Gas Storage к 2025 году увеличит емкость самого крупного в Узбекистане подземного хранилища газа (ПХГ) «Газли» в Бухарской области вдвое. Соответствующий проект, стоимостью 850 млн долларов реализуют в два этапа. На первом этапе, период реализации которого с 2020 по 2025 год, хранилище будет

расширено с существующих 3 млрд. до 6 млрд. кубометров природного газа. На втором этапе вместимость газохранилища доведут до 10 млрд кубометров газа [19-21].

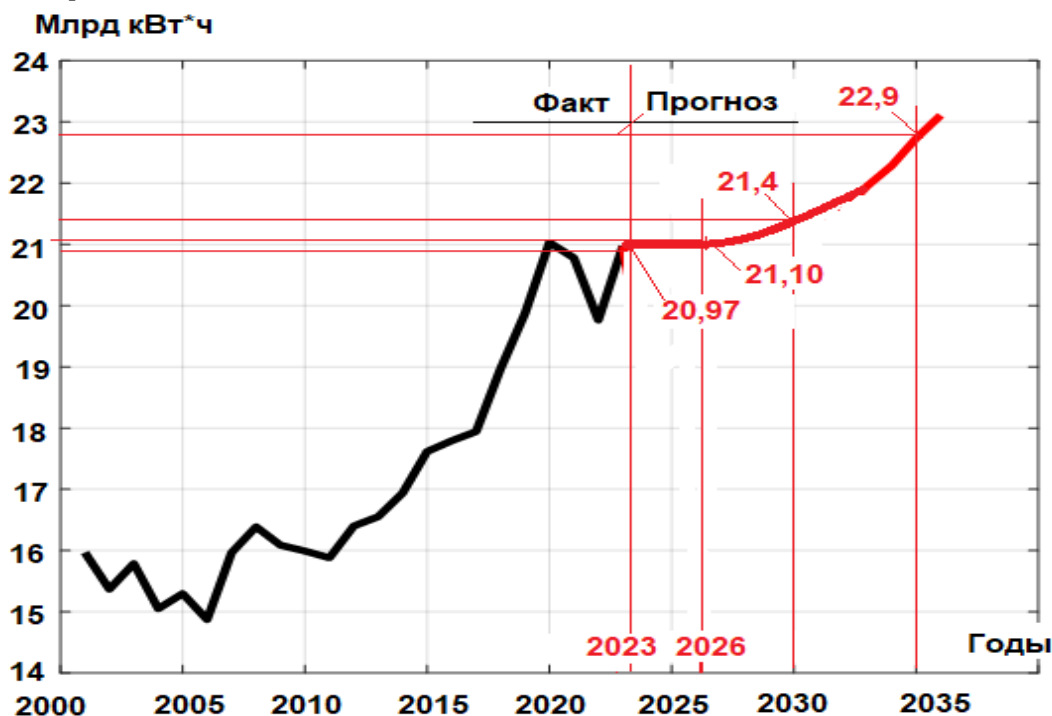


Рис.4. Прогноз потребления электроэнергии промышленностью Узбекистана (прогноз автора)

На рис.5 приведены прогнозные характеристики производства и потребления природного газа в Узбекистане.

В результате проведенных исследований по сбалансированному обеспечению энергобаланса Узбекистана до 2035 года можно диверсифицировать его структуру широкомасштабным внедрением возобновляемых источников энергии (10 ГВт-26,3%), тепловых электростанций на природном газе (13,4ГВт-35%) и угле (7,7 ГВт – 20,3%), гидроэлектростанций (3,8 ГВт -10%), ГАЭС (0,6 ГВт – 1,6%), а также строительством атомной электростанции (2,4 ГВт – 6,4%). При этом увеличится производство электроэнергии на душу населения примерно с 2000 кВтч/чел (2022) до 3600 кВтч/чел (2035), а совокупное производство электроэнергии увеличится с 77 млрд кВтч до 152 млрд кВтч соответственно. Заключительные данные приведены ниже в табл.1.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

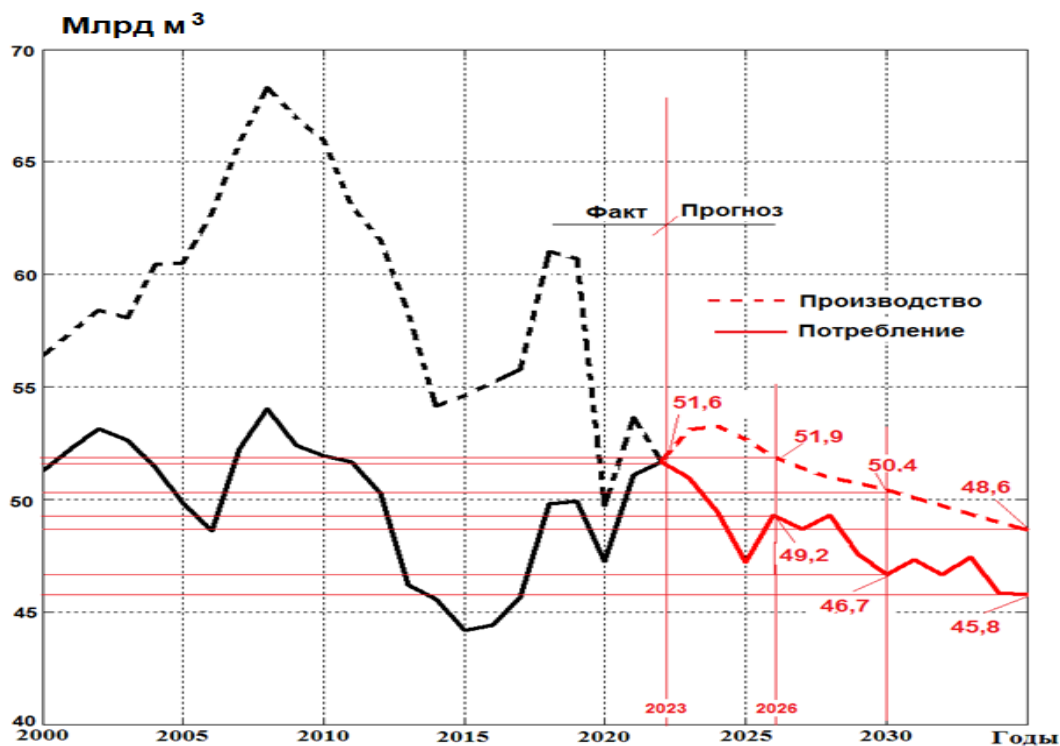


Рис.5. Прогноз производства и потребления природного газа в Узбекистане (прогноз автора)

Таблица 1

Установленная мощность энергосистемы и производство электроэнергии в Узбекистане к 2035 году (прогноз автора)

Тип станции	Установ мощность		Производ эл.энер	
	ГВт	%	Млрд кВт*ч	%
ТЭС (природный газ)	13,4	35,35	62,779	41,06
ТЭС (уголь)	5,7+2	20,32	36,075	23,60
ГЭС	3,8	10,02	13,099	8,56
ГАЭС	0,6	1,60	0,720	0,5
ВЭС	4,0	10,55	10,80	7,06
СЭС	6,0	15,83	11,40	7,45
АЭС	2,4	6,33	18,00	11,77
Итого:	37,9	100	152,872	100

В связи со складывающейся в настоящее время ситуацией в топливно-энергетическом комплексе Узбекистана в плане долгосрочного его развития можно отметить следующее.

Стратегическое развитие топливно-энергетического комплекса Узбекистана в перспективе должно быть основано на совместном применении атомной и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), глубокой переработке углеводородов, производстве водорода, разработке сланцевых месторождений и их применении в энергетике республики, при одновременной интенсификации методов повышения энергоэффективности производства и энергосбережения в отраслях экономики государства.

Постепенный переход к использованию возобновляемых и атомных источников энергии займет много лет. В этот период необходимо предпринимать меры по рациональному использованию парогазовых технологий и когенерации, повышению их эффективности в сочетании с энергосбережением в различных отраслях экономики и социальной сфере.

Реализация масштабных программ развития электро-, тепло- и атомной энергетики, ВИЭ, включая малые гидростанции, обеспечат в долгосрочной перспективе энергетическую независимость и безопасность государства.

Основными целями дальнейшего развития топливно-энергетического комплекса Узбекистана являются [22]:

В среднесрочной перспективе (2021-2035):

- повышение энергоэффективности и энергосбережение - основа развития экономики Узбекистана. В связи с этим необходимо дальнейшая цифровизация и интеллектуализация топливно-энергетического комплекса, доработка правово-нормативной базы с учетом достижений других стран;

- углубление экономических реформ, формирование и развитие рынка энергоресурсов и энергетических услуг;

- техническое перевооружение и модернизация добывающих, перерабатывающих и генерирующих мощностей с применением современных технологий энергопроизводства;

- расширение геологоразведочных и поисковых работ в целях увеличения запасов углеводородов;

- широкое применение возобновляемых источников энергии;

- создание интеллектуальной, цифровизированной, распределенной и карбонизированной энергетики на основе внедрения современных IT- технологий, возобновляемой и атомной энергетики;

- подготовка высококвалифицированных специалистов-энергетиков, в том числе в кооперации с зарубежными странами;

- диверсификация энергобаланса государства, позволяющая перейти от использования природного газа при производстве электрической и тепловой энергии к производству на основе ВИЭ и атомной энергетики;

- решение водно-энергетических проблем с учетом трансграничных требований;

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- снижение негативного воздействия энергопроизводства на окружающую среду;

- дальнейшее развитие интеграционных процессов в рамках Объединенной энергосистемы стран Центральной Азии и активное участие в международном энергетическом рынке.

В долгосрочной перспективе (2035-2050 гг. и далее):

- развитие симбиоза атомно-возобновляемой энергетики Узбекистана;
- решение комплекса задач по развитию водородной энергетики, производства водорода для транспортных, энергетических целей и промышленности Узбекистана;

- на основе симбиоза атомно-возобновляемой энергетики к середине XXI века необходимо формировать углеродно-нейтральную энергетику Узбекистана, выполнив при этом задачи Парижского Соглашения;

- проведение комплексных научно-исследовательских работ и экспериментальных разработок по вовлечению в экономику Узбекистана богатых сланцевых месторождений.

В целях реализации вышеотмеченных задач по развитию ТЭК Узбекистана, необходимо выполнение следующих мероприятий.

1. При производстве, передаче и потреблении энергии весьма важным фактором является повышения энергоэффективности и энергосбережения. При этом их реализация обеспечивает экономию энергоресурсов в Узбекистане до 30-35%. Необходимо пересмотреть существующие правово-нормативные положения, касающиеся данного вопроса с учетом новых технологий, подготовить и издать новые государственные нормы и стандарты.

2. При производстве электрической и тепловой энергии необходимо дальнейшего развития и применение парогазовых и когенерационных технологий, что увеличивает коэффициент полезного действия (КПД) агрегатов в два раза (до 65%) и, соответственно, уменьшает использование первичных энергоресурсов в два раза. Следует строить новые электростанции на основе парогазовых технологий и угольные станции с современными технологиями сжигания угля (кипящий слой и др.). Все ТЭЦ и котельные Узбекистана необходимо перевести в парогазовые и когенерационные циклы.

3. Необходимо восстановить работу всех газохранилищ Узбекистана с доведением их объема до 15 млрд м³ и усилить газотранспортную систему, идущую в сторону г. Ташкента и Ташкентской области – крупному промышленному центру, население которого к 2035 году увеличится с 5,8 млн. (2022) до 7 млн. человек.

4. В средне- и долгосрочной перспективе развитие энергетики Узбекистана связано с **совместным применением (симбиозе) атомных и возобновляемых источников энергии, так же как мировая энергетика; при этом:**

- доля участия ВИЭ в энергобалансе РУз должна быть не более (25-30) % от установленной мощности энергосистемы Узбекистана, из-за усложнения режимных, финансовых и других проблем. В случае превышения этой величины, предлагаемое в настоящее время увеличение мощности ВИЭ к 2030 году до 25 ГВт может привести к коллапсу энергосистемы, так как отсутствуют резервные мощности в виде газовых и

гидроэлектростанций. Использование аккумуляторных батарей (АБ) в качестве резервной мощности, также не может быть принято, так как стоимость электрической энергии АБ дорого, - более 100 долл/кВтч. (Справочно: мировой опыт показывает, что на каждые 1000 МВт ВИЭ требуется до 50% резервной мощности);

- необходимо строительство ГАЭС суммарной проектной мощностью более 600 МВт, а также новых ГЭС, в том числе малых;

- без атомной энергетики обеспечить энергетическую безопасность Узбекистана в средне- и долгосрочной перспективе сложно. Поэтому для начала необходимо приступить к реализации строительства АЭС мощностью 2,4 ГВт. Необходимо продолжить исследования по строительству новых блоков АЭС. Наличие АЭС способствует переходу Узбекистана к углеродно-нейтральной энергетике, так как атомная энергетика признана в качестве зеленой энергетике;

- использование малых АЭС не может быть реализовано в Узбекистане, так как полностью отсутствует мировой опыт долговременной эксплуатации таких АЭС.

5. В долгосрочной перспективе в энергобалансе РУз эффективно могут быть использованы энергетические сланцы, запасы которых в Узбекистане составляют более 50 млрд. тонн.

6. В средне- и долгосрочной перспективе возникает напряженность с обеспечением водой Республики Узбекистан. Строительство двух каналов в Афганистане усугубляет эту проблему, так как отбор в них Амударьинской воды составит до 15-20% стока. Очевидно, что возникнет необходимость вернуться к проблеме переброски вод сибирских рек в Центральную Азию. В свое время этот проект был необоснованно закрыт.

7. В целях научно-обоснованного решения водно-энергетических проблем, с учетом трансграничных вопросов и расширения применения угля и сланцев для энергетики страны, необходимо создание двух НИИ при Академии наук РУз – Института водно-энергетических проблем и Института угля и сланца, которые могли бы исследовать эти важнейшие задачи, являющиеся стратегическими, обеспечивающими энергетическую безопасность государства в долговременном плане.

Таким образом, в средне- и долгосрочной перспективе, реализация программных задач, вытекающих из Законов РУз, Указов и Постановлений Президента Республики Узбекистан, обеспечат развитие энергетики и энергетической безопасности, а также устойчивость развития государства. Для этого имеются богатая ресурсная база, мощный производственный потенциал и квалифицированные научно-технические кадры.

Литература

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 23.08.2017 года №ПП-3238 «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий».

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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

3. Указ Президента Республики Узбекистан от 18.05.2017 года №УП-5044 «Об образовании акционерного общества «Узбекгидроэнерго».

4. Постановление Президента Республики Узбекистан от 01.02.2019 года №ПП-4142 «О мерах по организации деятельности министерства энергетики Республики Узбекистан».

5. Постановление Президента Республики Узбекистан от 07.02.2019 года №пп-4165 «Об утверждении концепции развития атомной энергетики в Республике Узбекистан на период 2019 — 2029 годов».

6. Постановление Президента Республики Узбекистан от 27.03.2019 года №ПП-4249 «О стратегии дальнейшего развития и реформирования электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан».

7. Постановление Президента Республики Узбекистан от 17.04.2019 года №ПП-4291 «Об утверждении стратегии по обращению с твердыми бытовыми отходами в Республике Узбекистан на период 2019-2028 годов».

8. Постановление Президента Республики Узбекистан от 22.08.2019 года №ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии».

9. Постановление Президента Республики Узбекистан от 09.10.2019 года №ПП-4486 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами».

10. Постановление Президента Республики Узбекистан от 7 марта 2019 года № ПП-4234 «О мерах по повышению эффективности управления акционерным обществом «Узбекуголь»».

11. Постановление Президента Республики Узбекистан от 18 ноября 2019 года № ПП-4522 «О мерах по совершенствованию системы организации и проведения геологоразведочных работ на нефть и газ».

12. Ивахненко А. Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. 1975. 425 с. <https://www.livelib.ru/author/335329/top-a-g-ivahnenko>.

13. Ивахненко А. Г., Тетко И. В., Ковалишин В.В., Луйк А.И., Ивахненко Г. А., Ивахненко Н. А. Самоорганизация нейросетей с активными нейронами для обнаружения зависимости активности химических соединений на основе алгоритма поиска аналогов в экспериментальных данных. Доклад на I Международной конференции по индуктивному моделированию. Львов, 2002 г.

14. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров. -М.: МЭИ, 2003, 596 с.

15. Simon Haykin. Neural networks and learning machines. 3rd ed. 2008, 928 p.

16. Charu C. Aggarwal. Neural Networks and Deep Learning. Textbook. Springer. 2018. 512 p.

17. Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark Hudson Beale. Neural Network Design. 2nd Edition. 2014. 1012 p.

18. Сарычев А. Моделирование сложных систем в условиях структурной неопределённости: Регрессионные и авторегрессионные модели. 2016 - 284 с.

19. Узбекистан договорился о гарантированной поставке 5 млрд кубометров газа из России и Туркмении. (<https://centrasia.org/newsA.php?st=1700723220>. 23.11.2023).

20. В Узбекистане вдвое увеличат самое крупное подземное газохранилище. (<https://news.mail.ru/economics/57496820/?Frommail01.21.08.2023>).

21. Газ из России в Узбекистан планируется поставлять по газопроводу "Средняя Азия - Центр". (https://tass.ru/ekonomika/17638249?utm_source=uxnews&utm_medium=desktop. 28.04.2023).

22. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. /Под общей редакцией академика Салимова А.У. –Т.: Fan va tehnologiyalar. 2021. - 951 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

О РЕЖИМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С МИКРОСЕТЯМИ

О.В. Радионова, Р.А. Ситдиқов, С.Б. Талипова

Мақолада микротармоқли электр тармоқларини (МЭТ) ўз ичига олган электр энергия тизимларини (ЭЭТ) ишлатиш масалалари муҳокама қилинади. МЭТнинг ижобий ва салбий томонлари бўлган хусусиятлари таҳлил қилинади. Бундан ташқари, микрогридларнинг ижобий хусусиятлари салбийлардан устундир. Салбий кўринишлардан бири - МЭТ режимларининг параметрлари, шу жумладан кичик тақсимланган авлоднинг кўплаб манбалари бўйича жорий маълумотларнинг этишмаслиги. Бу режимни режаслаштириш, оптималлаштириш, ўрни ҳимояси ва автоматлаштириш созламаларини ҳисоблаш ва ҳоказоларга салбий таъсир кўрсатади. Бундай маълумотларнинг этишмаслиги кўплаб сабаблар билан боғлиқ: ҳисоб-китобларда ҳисобга олиш қийин бўлган микрогридлар тузилишидаги кичик, тўпланган ўзгаришлар; қуёш ва шамол қурилмаларининг беқарор ишлаб чиқарилиши; зондлаш режимларининг олдиндан айтиб бўлмайдиганлиги ва бошқалар. МЭТнинг жорий параметрлари тўғрисидаги маълумотларнинг этишмаслиги махсус энергия аудитлари орқали олиниши таклиф этилади. Махсус энергия аудитини ўтказишнинг тузилмаси ва усуллари, шу жумладан интрузив бўлмаган мониторингни қўллаш кўриб чиқилади.

Калит сўзлар: *электр тармоқлари, микротармоқлар, режим параметрлари, махсус энергия аудитлари, интрузив бўлмаган мониторинг, қайта тикланадиган энергия манбалари.*

В статье рассматриваются вопросы эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС), имеющих в своём составе электрические сети с микросетями (ЭСсМ). Анализируются свойства таких ЭСсМ, которые имеют положительные и отрицательные стороны. При этом положительнее свойства микросетей превышают отрицательные. Одно из негативных проявлений заключается в недостатке текущих данных о параметрах режимов ЭСсМ, включающих множество источников малой распределенной генерации. Это отрицательно влияет на планирование режимов, оптимизацию, расчеты уставок РЗиА и др. Недостаток таких данных связан со многими причинами: трудно учитываемыми в расчетах небольшими, накапливающимися изменениями в структуре микросетей; неустойчивой генерацией солнечных и ветровых установок; непредсказуемостью режимов множества просьюмеров и др. Предлагается недостаток информации о текущих параметрах ЭСсМ получать внеочередными специальными энергетическими аудитами, в том числе в режиме реального времени. Рассматриваются структура, методы и программы проведения специальных энергоаудитов, в том числе с использованием метода неинтрузивного мониторинга.

Ключевые слова: электрические сети, микросети, параметры режимов, специальные энергоаудиты, неинтрузивный мониторинг, возобновляемые источники энергии.

The article discusses the issues of operation of electric power systems (EPS), which include electrical networks with microgrids (ENwM). The properties of ENwM, which have positive and negative sides, are analyzed. Moreover, the positive properties of microgrids outweigh the negative ones. One of the negative manifestations is the lack of current data on the parameters of ENwM modes, including many sources of small distributed generation. This negatively affects mode planning, optimization, calculations of relay protection and automation settings, etc. The lack of such data is associated with many reasons: small, accumulating changes in the structure of microgrids that are difficult to take into account in calculations; unsustainable generation of solar and wind installations; unpredictability of probing modes, etc. It is proposed that the lack of information about the current parameters of the ENwM be obtained through extraordinary special energy audits. The structure and methods of conducting special energy audits, including the use of non-intrusive monitoring, are considered.

Key words: electrical networks, microgrids, mode parameters, special energy audits, non-intrusive monitoring, renewable energy sources.

Введение. Процессы развития современной электроэнергетики происходят в соответствии с изменениями мирового энергетического уклада путём перехода от централизованной к распределённой, интеллектуальной энергетике [1-5]. Электроэнергетические системы (ЭЭС) всё больше сочетают традиционные крупные источники генерации и распределённую генерацию в виде электрических сетей с микросетями (ЭСсМ), виртуальных электростанций, альтернативных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ). При формировании таких ЭЭС важная роль отводится проектированию схем выдачи мощности и планированию их режимов, обеспечивающих необходимые требования надёжности, бесперебойности, экономичности и т.д.

Сегодня электроэнергетика, в том числе в Республике Узбекистан, переживает кардинальную трансформацию, основным драйвером которой выступают технические и технологические нововведения, внедрение ВИЭ, цифровизация и интеллектуализация, обуславливающие возможности для перехода к принципиально новому этапу её развития [6-13].

Классическое проектирование и эксплуатация ЭЭС требуют комплексного подхода к выбору, оптимизации схем, прогнозированию и расчетам режимов ЭЭС; технико-экономическому обоснованию решений, определяющих состав, структуру, внешние и внутренние связи, динамику развития, параметры и надёжность работы как системы в целом, так и ее отдельных элементов.

Известно, что назначением расчетов режимов электрических сетей являются: выбор схемы и параметров сети, в т. ч. определение загрузки элементов сети и соответствия их пропускной способности ожидаемым потокам мощности; выбор

сечений проводов и мощностей трансформаторов; выбор средств регулирования напряжения, компенсации реактивной мощности; оптимизация потокораспределения; выявление тенденций изменения потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях, внедрение мероприятий по их ограничению; разработка средств обеспечения устойчивости электроэнергетической системы. Решение этих задач требует использования большого объема информации, рассредоточенной в различных статьях, справочниках, инструкциях, методических указаниях, а также накопленного отечественного и зарубежного опыта [14-19].

В настоящее время, в связи с развитием и быстрым внедрением микросетей, виртуальных электростанций, источников распределённой малой и микрогенерации, такие расчеты не всегда производятся из-за изменений при модернизации сетей, возникает задача проведения расчетов режимов ЭСсМ, устойчивости, переходных процессов и др., после введения подобных объектов в эксплуатацию.

Микросети и их свойства. Микросеть (microgrid) — это локальная децентрализованная энергетическая сеть, способная подключаться к основной сети, а также работать автономно, в островном (независимом) режиме [20-24]. Зарубежный опыт говорит, что современные микросети - это жизнеспособный подход к модернизации электрических сетей; их также можно описать как децентрализованное объединение генерации, распределения, хранения и потребления электроэнергии. На рис.1 показана типовая структурная схема микросети.

В последние десятилетия, когда использование ВИЭ расширилось [1,10], микросети все чаще внедряются в существующие электрические сети. Подобное внедрение микросетей интересно с институциональной точки зрения, поскольку микросети конкурируют с традиционной инфраструктурой электрических сетей, основанной на крупномасштабных электростанциях с протяженными линиями передачи и сетями распределения электроэнергии. Микросети подходят для расширяющегося внедрения возобновляемых источников энергии в отдаленных областях, могут обеспечить большую эффективность электроснабжения; их можно использовать как для производства энергии, так и развития электрических сетей.

Существуют и другие свойства микросетей, рассмотрим их подробнее.

Плюсы микросетей. Микросеть обеспечивает недорогую энергию от небольших разнообразных источников с помощью интеллектуальных технологий. Контроллер микросети делает ее работу автономной. Оптимальное распределение и потребление позволяет существенно экономить на счетах за электроэнергию.

- ЛЭП, подключенные к центральной сети, доставляют энергию издалека, следовательно, от 8% до 15% энергии теряется в пути. В микросетях, особенно при наличии просьюмеров, потери существенно ниже, поскольку электроэнергия передаётся по коротким линиям. По этой же причине в микросетях гораздо ниже вероятность обрывов в сети и/или других аварий.

- В случае отключения электроэнергии микросеть может отсоединиться от основного источника и продолжать обеспечивать потребителей своего района за счет собственных аварийных источников.

- Микросеть, включая виртуальные электростанции, может работать на разных видах генерации и возобновляемых источниках энергии.
- В микросетях очень удобно проводить мероприятия по управлению спросом для регулирования потребления.
- В то время как крупную электростанцию строить дорого и долго, микросеть можно создать и построить гораздо дешевле и быстрее.

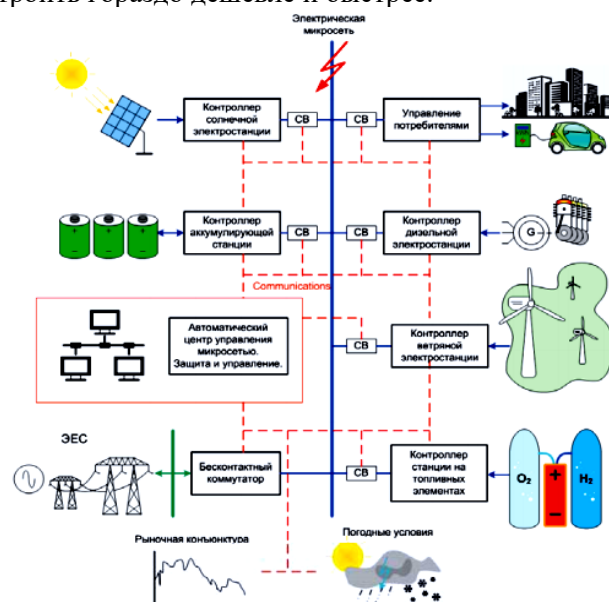


Рис.1. Типовая структурная схема микросети [5]

Недостатки микросетей. 1. Имеются нормативные проблемы из-за несоответствия микросетей требованиям существующей нормативно-правовой базы в энергетике и принятым стандартам.

2. При проектировании не всегда проводятся тщательные расчеты параметров режимов микросетей, учитывающих все изменения при их интеграции в основную сеть, при модернизации, оказывающих влияние на параметры.

3. Защита данных является ахиллесовой пятой при установке микросетей, так как каждая микросеть собирает данные о потребителях для повышения эффективности работы. Правила кибербезопасности неполностью разработаны и не всегда соблюдаются, необходим соответствующий жёсткий регламент по защите данных и информации о потребителях.

4. Развитие микросетей может представлять угрозу для централизованных и коммунальных энергетических компаний, поскольку развитие микросетей не всегда совпадает или даже противоречит функционированию таких компаний, в том числе связанную с существующей системой расчетов за потребляемую электроэнергию; поэтому они могут противодействовать развитию микросетей.

Перспективными направлениями развития микросетей в изолированных районах являются совершенствование аппаратного и программного обеспечения, позволяющее генерирующим мощностям и накопителям энергии, включаемых в микросети, работать в наиболее оптимальном для них режиме, и сохранять заданный уровень надежности и устойчивости работы энергосистемы [21].

Особенности проектирования и эксплуатации ЭЭС с микросетями. При проектировании и внедрении ЭСсМ в составе ЭЭС необходимо учитывать появление возможных проблем (в том числе из-за стихийных явлений, непредвиденных аварий, физических или кибератак, проблем информационной безопасности и др.). Для получения соответствующих данных, может проводиться специальный энергоаудит или осуществляться моделирование (имитационное, математическое) следующих факторов:

- анализ потоков нагрузки и потерь электроэнергии (разнонаправленные со смешанной генерацией);
- анализ адаптивности и совместимости элементов микросети;
- анализ стабильности мощности (частоты) и напряжения (от существующих источников, в том числе от ВИЭ);
- анализ токов коротких замыканий в различных точках микросети;
- возможность проведения контроля различных параметров, в зависимости от спроса/генерации;
- возможность развития автоматизации и интеллектуализации, автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), систем РЗА в координации с устройствами верхнего уровня управления, а также развитие интеллектуальной системы сбора и обмена технологической информации;
- характеристики балансов ресурсов генерации и графиков потребления;
- функционирование механизма управления спросом (управление потреблением) при использовании АСКУЭ; и другие.

Проектные расчеты электрических режимов ЭСсМ нередко выполняются без запасов мощности, или, наоборот, с увеличенными резервами. В связи с этим выявлен риск нарушения электроснабжения потребителей по причине неточности и возможных искажений в показателях таких сетей при эксплуатации, т.к. фактическая нагрузка потребителей может сильно отличаться от проектной [22].

Возникают также проблемы, связанные с качеством напряжения при подключении мощных потребителей, а также из-за пульсирующих колебаний напряжения генераторов ВЭС и ФЭС. Например, в дневное время в ЛЭП 0,4 кВ с множеством подключённых фотоэлектрических установок могут возникать обратные потоки мощности, приводящие к превышению номинальных значений напряжения, более чем на допустимые 5 % (10%), что может привести к нежелательным последствиям.

Особую остроту имеют вопросы обеспечения надежности функционирования самой системы управления режимами ЭСсМ, включая вопросы информационной и кибербезопасности [24-26].

В условиях роста количества и мощности электроприёмников силовой и бытовой электроники, питающихся через выпрямители, стабилизаторы, инверторы (частотно-регулируемый электропривод; компьютерная, офисная и бытовая техника; светодиодное освещение и т.п.) регулирующие эффекты нагрузки по напряжению и частоте снижаются. Вместе с тем изменяется гармонический состав токов, а значит и питающее напряжение электроприёмников. Это создаст дополнительные проблемы управления режимами ЭСсМ. При этом возрастает роль разного рода компенсирующих устройств, включая активных потребителей [27-29], управляющих электропотреблением в режиме реального времени, в зависимости от дифференцированных тарифов.

Множество потребителей с отмеченными выше особенностями характеристик: преобразователи, накопители, источники малой генерации и др. существенно меняют структуру, свойства и управляемость ЭЭС.

Это также касается различных параметров, например, как было указано выше, изменения качества электроэнергии за счет появления гармоник в сетях с мощными электронными установками (зарядными устройствами, источниками бесперебойного питания – ИБП и др.), искажающих синусоиду. Имеется показатель, характеризующий степень отличия формы тока от синусоидальной: общее гармоническое искажение - Total Harmonic Distorsions (THD или THDi). Он рекомендован стандартом IEEE 519-2014 «IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems» и охватывает рекомендуемые методы и требования к управлению уровнем гармоник в ЭЭС.

Величина показателя THDi равна отношению действующего значения суммы гармонических составляющих к действующему значению основной составляющей переменного тока. Коэффициент THDi позволяет одним числом выразить степень искажений, влияющих на ток в любом месте электроустановки. Низкий THDi подразумевает малые пиковые токи, меньший нагрев, меньшее электромагнитное излучение, меньшие потери в сердечниках и двигателях.

Выявление источников искажений производится посредством замеров на входах и выходах различных цепей, позволяя отследить пути протекания и источники гармоник. В табл.1, на основе данных [22], построены зависимости коэффициента THDi от загрузки мощного ИБП.

Таблица 1

Зависимость величины THDi (о.е.) от загрузки мощного ИБП (%)

№	Загрузка ИБП, %	величина THDi (о.е.)
1	10	0,6
2	25	0,5
3	35	0,43
4	50	0,36
5	65	0,3
6	75	0,27
7	90	0,25

Ниже приведены рекомендуемые стандартами значения THDi и соответствующие им мероприятия в электроустановках [22]:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- - $\text{THDi} < 0,1$ – нормальная ситуация, отсутствие сбоев в работе электрооборудования;
- - $0,1 < \text{THDi} < 0,5$ – значительное загрязнение сети гармониками с опасностью повышения температуры электроустановок, и обусловленная этим необходимостью использования соответствующих фильтров;
- - $\text{THDi} > 0,5$ – большая степень загрязнения сети гармониками, возможны сбои в работе оборудования, необходима обязательная установка фильтров и компенсирующих устройств.

Наличие в микросети большого количества мощных электронных устройств может привести к существенному росту гармонических составляющих в токе нагрузки. Часто оказывается, что в проектной документации по микросети отсутствует раздел анализа показателей качества электрической энергии, поэтому необходим мониторинг и анализ соответствия требованиям показателей качества электроэнергии в микросети.

Необходимость текущего мониторинга и проведения специальных энергетических аудитов (обследований) ЭСсМ. В последние годы случаются аварии с полным или частичным нарушением электроснабжения электроприемников первой категории, включая группу имеющих место при каскадных процессах [30,31]. Данные аварии, как правило, начинаются с отключения источников питания в централизованных сетях электроснабжения, и завершаются последующей или одновременной нерасчетной и некорректной работой оборудования ЭСсМ, систем гарантированного и бесперебойного электроснабжения потребителей, что может приводить к большим экономическим потерям [32].

Поэтому для определения текущих параметров необходимо корректное моделирование и/или проведение натурных исследований электрических режимов в рамках проведения специальных энергоаудитов. Подчеркнём: данная потребность обусловлена тем, что в результате накопления эффектов от небольших изменений, происходящих в ходе модернизации и обновления оборудования распределительных и микросетей, постепенного изменения их конфигурации, эволюции технологий и структуры электропотребления, фактическая схемно-режимная среда ЭСсМ претерпевает существенные качественные и количественные изменения.

Поэтому, для своевременности выявления фактических причин неоптимального или некорректного функционирования элементов электрических сетей и микросетей, необходимо определение параметров, их текущих фактических электрических режимов, путем проведения соответствующего мониторинга в виде энергетического аудита (обследования) [33-34].

Проведение специальных энергетических аудитов. Таким образом, если на стадии проектирования энергообъекта с микросетями не было полностью выполнено необходимое комплексное моделирование для определения параметров электрических режимов или оно устарело, то его необходимо провести в рамках специального энергетического аудита, которое должно проводиться квалифицированными специалистами и включать в себя выполнение следующих работ:

- документальное обследование (получение и обработка исходных данных о микросетевом оборудовании: принципиальных схем, руководств по эксплуатации и паспортов оборудования, необходимых и достаточных для создания расчетной модели микросети, а также соответствующей части сети внешнего электроснабжения);

- инструментальное обследование, проведение натурных испытаний и измерений: фиксация параметров электрических режимов, имитация допустимых аварийных событий, обработка полученных экспериментальных данных для восполнения недостающей информации, необходимой для формирования расчетной модели; определение узловых нагрузок исследуемой электрической сети; получение количественных характеристик реальных отклонений параметров качества электроэнергии в части: провалов напряжения и перенапряжений, изменений частоты, фазной асимметрии, высших гармоник, а также алгоритмов работы и параметров настройки систем автоматического регулирования, регуляторов возбуждения и скорости вращения генераторов, уставок устройств РЗА и технологических защит; уточнение фактических режимов заземления нейтралей трансформаторов и другого оборудования;

- проведение комплекса расчетов: установившихся режимов, электромеханических переходных процессов, показателей качества электроэнергии и расчетов токов короткого замыкания с целью выявления проблемных аспектов и проверки обоснованности принятых проектных технических решений;

- разработка рекомендаций по выполнению организационных и технических мероприятий, направленных на минимизацию вероятности возникновения нарушений электроснабжения потребителей.

При обследовании сетей необходимо выполнять расчеты при:

- параллельном режиме работы микросети с ЭЭС;
- изолированном режиме работы с питанием особо ответственной нагрузки от систем гарантированного и бесперебойного электроснабжения;
- переключениях, когда в результате возмущения во внешней сети осуществляется переход от параллельного режима работы энергообъектов на электроснабжение от собственных источников распределённой генерации.

Новыми для программ проведения энергоаудитов видом исследования являются комплексное моделирование нормальных, ремонтных, аварийных и послеаварийных стационарных и переходных режимов ЭСсМ, расчеты токов коротких замыканий, анализ вероятных аварийных событий с определением мероприятий, предотвращающих их возникновение.

По результатам энергетических обследований, включающих натурные испытания и измерения, а также комплексное математическое моделирование электрических режимов, могут быть выявлены проблемные аспекты режимов ЭСсМ [34], оказывающие влияние на надежность электроснабжения потребителей, а именно:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- возникновение незатухающих колебаний параметров электрического режима вследствие несовместимости алгоритмов работы локальных систем автоматического регулирования (САР) активных энергетических установок;
- несимметрия трехфазных напряжений и токов, а также нелинейность нагрузки, вызывающих вибрацию и дополнительный нагрев электрических машин;
- неуспешные пуски крупных высоковольтных электродвигателей в различных схемно-режимных ситуациях;
- возникновение нарушений при ликвидации удаленных трехфазных КЗ действием максимальной токовой защиты с выдержкой времени при работе в островном режиме;
- отключение электрических машин защитой от перегрева по причине появления значительных гармонических искажений в токе нагрузки;
- отказ в срабатывании встроенных защит автоматических выключателей по причине нескоординированного выбора уставок с работой других систем РЗА;
- неселективная работа автоматических выключателей в микросети при переходе в изолированный (островной) режим или, наоборот, в совместный с ЭЭС режим.

Все необходимые параметры, полученные в ходе специальных энергоаудитов, а также выявленные проблемы (с предложениями об их ликвидации) должны быть отражены в соответствующих отчетах по проведению таких энергоаудитов. Форма отчетов должна быть утверждена в установленном порядке компетентными энергетическими организациями.

Неинтрузивный энергоаудит в ЭСсМ. Инновационную роль при проведении специальных энергоаудитов может иметь использование метода неинтрузивного мониторинга (Non-intrusive load monitoring - NILM), который позволяет оперативно идентифицировать используемые устройства в общей силовой нагрузке в соответствии с их индивидуальными характеристиками [35].

NILM – достаточно новое понятие, используемое многими странами в разных сферах, в том числе в электроэнергетике. Внедрение неинтрузивного мониторинга нагрузки позволяет удалённо определять параметры элементов микросети, ЛЭП и потребителей, значительно повышая оперативную информативность данных. При этом точность измерений и разрешение предлагаемой измерительной платформы достаточны для решения ряда различных задач эксплуатации ЭСсМ.

Интеллектуальные измерения и неинтрузивно детализованные данные являются основными факторами, способствующими оперативному проведению энергетических аудитов, решению задач расчёта параметров их режимов, определению уставок релейной защиты и автоматики (РЗА) элементов микросетей.

Обсуждение. Наличие микросетей в ЭЭС увеличивает надежность и гибкость электроснабжения множества небольших потребителей. В то же время изменения в параметрах, появляющиеся при внедрении в состав ЭЭС микросетей, особенно с источниками неустойчивой генерации - фотоэлектрических (ФЭС) и ветроэлектрических станций (ВЭС), усложняют задачу обеспечения надежности функционирования таких систем. Это связано с тем, что часто отсутствуют

необходимые данные о влиянии множества небольших источников распределённой переменной генерации на режимы ЭЭС.

Прежде всего, это касается уточнённых расчетов токов КЗ, которые необходимы для выбора схемы и параметров основных электрических сетей, определения корректных уставок систем релейной защиты и автоматики (РЗА). Поэтому необходимо учитывать специфическое влияние микросетей на планируемые потоки мощности, которые в обычных ЭЭС характеризуются средними условиями нахождения основного оборудования электростанций в плановом и аварийном ремонтах; учитывать их влияние на расчетные максимальные потоки мощности, которые характеризуются неблагоприятными сочетаниями нахождения в ремонтах основных электростанций и переменных режимов генерации множества небольших источников в микросетях.

Для обеспечения надежного функционирования ОЭС Узбекистана с микросетями и электропередачами большой пропускной способности, и предотвращения возможного развития аварий при их отключении, необходимо принять максимально допустимые значения относительных дефицитов мощности при наличии микросетей, нормальной схеме и нормальных режимах работы, которые зависят от графиков нагрузки ОЭС и микросетей.

В соответствии с рекомендациями по предотвращению каскадного развития аварий принято, что относительные дефициты мощности в приемных частях ОЭС не должны превышать 5–10 % от их максимальной нагрузки, включая дефициты, имеющиеся в микросетях [36,37].

В зависимости от конкретного состава оборудования микросети, необходимо проводить технико-экономическое обоснование объектов, характеризующееся следующими основными требованиями: определение технической необходимости сооружения; выбор технических решений; оценка экономической эффективности отобранных решений для обеспечения надежности электроснабжения потребителей.

Необходимая пропускная способность в сечениях основной электрической сети ОЭС определяется таким образом, чтобы обеспечивать:

- покрытие максимума нагрузки в дефицитных частях ОЭС при нормальной схеме сети в утяжеленном режиме (после аварийного отключения наиболее крупного генерирующего блока в рассматриваемой части ОЭС), при использовании имеющегося в рассматриваемой части ОЭС собственного резерва мощности;

- покрытие максимума нагрузки после аварийного отключения любого ее элемента: линии (одной цепи двухцепной линии), трансформатора и т.д. в нормальной схеме сети (по принятым критериям N-1 или N-2).

Необходимые коэффициенты запаса статической устойчивости в послеаварийных режимах и условия применения противоаварийной автоматики (ПА), для обеспечения успешности переходных процессов, должны соответствовать требованиям обеспечения устойчивости энергосистем.

Об особенностях работы электросетей в условиях эксплуатации разных типов распределенной генерации. Интеграция источников распределенной генерации и центральных сетей, 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, величины и направления потоков мощности приобретают переменный характер:

- уровни токов короткого замыкания могут возрастать или уменьшаться, по причине добавления или отключения дополнительных источников электроэнергии. Появляется многостороннее питание точки повреждения участка электросети. Действующие значения токов короткого замыкания во время аварийного режима могут значительно изменяться из-за непосредственной близости источников генерации электроэнергии;

- возникают режимы асинхронных включений вследствие срабатывания автоматического повторного включения [38]. Отключение короткого замыкания на смежных линиях также приводит к подобным режимам, что способствует появлению больших токов и повышенных электромагнитных моментов, влияющих на генераторы и их механическую прочность;

- появляется режим автономной работы в случае отделения распределительной сети от центральной энергосистемы, который в зарубежной литературе получил название «Islanding» (островной режим) [39]. Такой режим может характеризоваться снижением напряжения или частоты, если распределенная генерация не обеспечивает необходимой мощностью местную нагрузку. В случае равенства генерируемой и потребляемой нагрузкой мощностей, уменьшаются только токи короткого замыкания, что приведет к снижению чувствительности релейной защиты.

Заключение. Из вышеизложенного в статье можно сделать следующие выводы:

1. Внедрение и развитие в ЭЭС технологий ЭСсМ — это масштабная, кропотливая и поэтапная работа, затрагивающая всех субъектов энергетики: генерацию, сетевые компании, потребителей, регулирующие органы и др., поэтому необходим системный подход к координации действий большого числа предприятий и организаций. Должна дополняться и нормативно-правовая база Узбекистана в сфере электроэнергетики.

2. Перечисленные в статье проблемные аспекты, возникающие при эксплуатации ЭЭС, оснащенных ЭСсМ, происходят по причине недостаточного исследования параметров их режимов на стадиях проектирования микросетей, реконструкции, модернизации, а также из-за процессов старения оборудования.

3. Необходимо повысить требования к предварительному моделированию и расчетам электрических режимов на стадии проектирования новых энергообъектов, реконструкции схем электроснабжения при подключении объектов микросетей, а при необходимости идти по другому пути – проводить специальные дополнительные

энергетические аудиты для выявления и/или уточнения необходимых эксплуатационных параметров,

4. Предлагаемая в статье концепция мониторинга режимов ЭСсМ на основе проведения специальных энергоаудитов, представляет собой инновационную форму внедрения идеологии распределенной энергетики, открывает возможности более эффективного применения микросетей с ВИЭ и просьюмерами для обеспечения качественного энергоснабжения как централизованных, так и удаленных территорий.

5. Основным направлением развития ЭСсМ должна быть интеллектуализация, которая имеет большое значение для обеспечения соответствующих свойств путем формирования необходимой структуры и придания электроэнергетике современных качеств.

Литература

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

2. Энергетика XXI века: системы энергетики и управление ими / С. В. Подковальников, С.М. Сендеров, В. А. Стенников и др.; /Отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск:Наука, 2004. -364 с.

3. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш., Ситдииков Р.А., Васильев В.Г. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. - Т.:Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи. 2020. -276 с.

4. Лю Чженья. Глобальное энергетическое объединение. -М.:Издательский дом МЭИ, 2016. -512 с.

5. Ситдииков Р.А. Новые технологии производства и распределения электрической энергии. –Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi, 2023. –220 с.

6. Инновационная электроэнергетика–21 / под ред. В.М. Батенина, В.В. Бушуева, Н.И. Воропая – М.: ИЦ «Энергия», 2017. –584 с.

7. Указ Президента РУз «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации». 5 октября 2020 г., № УП-6079.

8. Ситдииков Р.А., Радионова О.В. Основные направления и механизмы устойчивого развития и модернизации электроэнергетики Узбекистана // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2023. -№ 1. -С.37-43.

9. Ситдииков Р.А., Радионова О.В. Интеллектуализация – приоритетный фактор обеспечения устойчивого развития электроэнергетики Узбекистана //Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2023. -№ 3. -С.25-38.

10. Закон РУз «Об использовании возобновляемых источников энергии». 21 мая 2019 г. № ЗРУ-539.

11. Постановление Президента РУз «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики». 13 июля 2016 года № ПП-2559.

12. Постановление Президента РУз «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий». 23 августа

2017 г. №ПП-3238.

13. Концепция стратегии развития Республики Узбекистан до 2035 года. (11 февраль, 2019).

14. Бухгольц Б.М., Стычински З.Ф. Smart Grids – основы технологии энергосистем будущего. -М.:Издательский дом МЭИ, 2017. -461 с.

15. Новосёлова О. Малая генерация – путь к интеллектуальным энергосистемам //Электроэнергия. Передача и распределение. 2011, -№ 5. –С.20–21.

16. Радионова О.В., Ситдииков Р.А. Аспекты развития микросетей с возобновляемыми источниками энергии в Республике Узбекистан. /Сб. Международной научн.-техн. конференции «Актуальные проблемы цифровизации и повышения энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем», Ташкент, 25-26 мая 2023 г. –Т:ТашГТУ, 2023. – С.134-137.

17. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы (2020).

18. Energy systems & sustainability – power for a sustainable future.(2021) /edited by Bob Everett, Stephen Peake and James Warren. Printed and bound in the United Kingdom by Bell&Bain LTD, Glasgow. -632 p. ISBN 9780198767640.

19. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 3-е изд. – М.: ЭНАС, 2009. – 392 с.

20. Barnes, M. Real-World MicroGrids-An Overview / M. Barnes, J. Kondoh, H. Asano, J. Oyarzabal, G. Ventakaramanan, R. Lasseter, N. Hatziaargyriou, T. Green // 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering. – IEEE, 2007. – P. 1–8. DOI:10.1109/SYSOSE.2007.4304255.

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

22. 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.

23. <http://www.smartgrid.su/2010/02/18/umnaya-set/>.

24. Hu M. Operating Strategies and Management for Smart Microgrid Systems [Text] / M. Hu, Y. Chen, Y. Chang // Journal of Energy Engineering. - 2014. - Vo1. 140, Issue 1. - P. 356-364.

25. 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).

26. Папков Б.В., Куликов А.Л., Осокин В.Л. Проблемы кибербезопасности электроэнергетики. -М.:НТФ «Энергопрогресс», 2017. -96 с.

27. Интеллектуальное развитие электроэнергетики с участием активного потребителя / под ред. Бушуева В.В. -М.: Энергия, 2013. -84 с.

28. Папков Б.В. Активные элементы потребителей в электроэнергетической системе // Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики. Вып. 66. Актуальные проблемы надёжности систем энергетики. Минск : БНТУ, 2015. -С. 218–225

29. Energy Sustainability Index to Evaluate American Energy Policy [Electronic resource] / Regions for sustainable change. – Mode of access: <http://www.rscproject.org/indicators/index.php?page=school-of-public-policy-georgia-institute-of-technology>. – Date of access: 02.12.2014.

30. <https://news.mail.ru/incident/49751094/>. 30.011.2022. Причины отключения электроэнергии в Узбекистане расследует правительственная комиссия.

31. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушения электроснабжения. -М.:Издательский дом МЭИ, 2010. -188 с.

32. Радионова О.В., Ситдииков РА. Киберфизические системы для проведения энергетических аудитов. / Сборник докл. Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем». Ташкент, 3-4 марта 2022г. I том. 2022. -С.170-173.

33. Назарычев А.Н., Илюшин П.В. Анализ результатов проведения обследований сетей электроснабжения предприятий /Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики. Исследование и обеспечение надёжности систем энергетики. 2017. -№ 68. -С. 525–534.

34. Радионова О.В., Ситдииков Р.А. О мониторинге режима и состояния электрической сети. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2021,-№ 1.–С.115-121.

35. Радионова О.В. Об использовании неинтрузивного мониторинга для расчета режимов электрических сетей напряжением 0,4 - 10 кВ. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2021. -№4. -С.61-65.

36. Огороков В.Р., Волкова И.О., Огороков Р.В. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность. //Академия энергетики. 2010. -№3.

37. Стенников В.А., Воропай Н.И. Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция [Электронный ресурс]. URL: http://energystrategy.ru/projects/Energy_21/4-2.pdf (декабрь 2017).

38. Концепция развития релейной защиты и автоматики электросетевого комплекса. Приложение №1 к протоколу Правления ПАО «Россети» от 22.06.2015 № 356пр // Релейщик. – 2015. – С. 49.

39. Baran, M. Adaptive over current protection for distribution feeders with distributed generators / M. Baran, I. El-Markabi // IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 2004. – IEEE, 2004. – P. 1399–1403. DOI:10.1109/PSCE.2004.1397672.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311.1

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВЫРАВНИВАНИЕМ
ГРАФИКОВ НАГРУЗОК НА ОСНОВЕ АККУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ**

Т.Ш. Гайибов, Б.Х. Муродов

Электр энергетика тизимида қайта тикланувчан энергия манбаларида ишловчи электр станцияларининг улушини ортиб бориши, ҳамда истеъмочиларнинг юклама графикларини нотекислик даражасини ошиши энергия сақлагичларни ўрнатиши ва уларни ишлатиши мақсадга мувофиқ эканлигини белгилайди. Бундай энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптимал режаслаштириши ҳар бир вақт интервали учун барча ростланувчан параметрларнинг, жумладан юкламаларнинг, оптимал қийматларини сақлагичларнинг ростлаш имкониятларини эътиборга олган ҳолда аниқлашдан иборат бўлади. Мазкур ишда бундай масалани истеъмолчиларнинг юклама графикларини текислаш орқали ечишнинг самарали модели ва алгоритми таклиф этилган. Модел ва алгоритмнинг самарадорлигини «Ўзбекистон Миллий электр тармоқлари» АЖ марказий қисми ҳолатларини оптималлаштириши мисолида тадқиқ қилиши натижалари келтирилган.

Калит сўзлар: *электр энергетика тизими, энергия сақлагич, юклама графиги, математик модел, оптималлаштириши алгоритми.*

Увеличение в электроэнергетической системе доли станций, работающих на возобновляемых источниках энергии, а также повышенная неравномерность графиков нагрузок потребителей обуславливает целесообразность внедрения и эксплуатации в них накопителей энергии. Оптимальное планирование краткосрочных режимов таких энергосистем заключается в определении для каждого временного интервала оптимальных значений всех регулируемых параметров, в частности, нагрузок за счет использования регулирующих возможностей накопителей. В данной работе предлагаются эффективная модель и алгоритм решения такой задачи с выравниванием графиков нагрузок потребителей. Приведены результаты исследования эффективности модели и алгоритма на примере оптимизации режимов Центральной части АО «Национальные электрические сети Узбекистана».

Ключевые слова: *электроэнергетическая система, накопитель энергии, график нагрузки, математическая модель, алгоритм оптимизации.*

Increasing the share of stations operating on renewable energy sources in the electric power system, as well as the increased unevenness of consumer load schedules, makes it advisable to introduce and operate energy storage devices in them. Optimal planning of short-term modes of such power systems involves determining for each time interval the optimal values of all adjustable parameters, in particular loads, through the use of the regulating capabilities of storage devices. This paper proposes an effective model and algorithm for solving such problem with leveling the consumer load graphs. The results of

study the effectiveness of the model and algorithm are presented using the example of optimizing the modes of the Central part of JSC “National Electric Grids of Uzbekistan”.

Keywords: *electric power system, energy storage, load graph, mathematical model, optimization algorithm.*

Введение. Современное развитие энергетики во всем мире характеризуются широким внедрением в энергосистемы станций, работающих на возобновляемых источниках энергии, и повышением неравномерности графиков нагрузок потребителей [1, 11]. Для надежного снабжения потребителей качественной электроэнергией, при минимальных затратах, в некоторых энергосистемах используют накопители энергии [1, 2, 6-9], которые служат для покрытия небалансов, возникающих в результате случайных изменений мощностей станций, и неравномерности графиков нагрузок потребителей. В этих условиях усложняются задачи оптимального планирования и оперативного управления режимами электроэнергетических систем. При этом требуется усовершенствование существующих математических моделей и алгоритмов решения задачи с учетом выравнивания графиков нагрузок потребителей за счет использования регулирующих возможностей накопителей энергии.

В существующей литературе приводится ряд моделей и алгоритмов решения задач оптимизации режимов энергосистем с регулированием графиков нагрузок потребителей [5-9, 10-15]. Они внесли большой вклад в развитие теории и методов решения данной задачи в условиях обеспечения возможности регулирования мощностей нагрузок. Вместе с тем, вопросы оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с одновременным выравниванием графиков нагрузок потребителей за счет регулирования мощностей накопителей энергии, исследованы недостаточно. В большинстве этих работ не исследованы вопросы выравнивания графиков нагрузок энергосистем за счет аккумуляции энергии. А предложенные в некоторых работах методы и алгоритмы по решению подобных задач для электрических сетей предприятий [14, 15] и небольших автономных систем [7-9] не могут быть непосредственно использованы для крупных энергосистем. В связи с этим вопросы разработки и внедрения эффективных моделей и методов оптимизации режимов энергосистем, содержащих крупные накопители энергии, с учетом всех влияющих факторов остается актуальной задачей.

В данной работе предлагаются эффективная модель и алгоритм решения задач оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем, содержащих в своем составе накопители энергии, за счет выравнивания графиков нагрузок потребителей.

Математическая модель и алгоритм оптимизации. Математическую модель задачи оптимального планирования режима на период T энергосистемы, имеющей накопители энергии, можно сформулировать в следующем виде:

- минимизировать целевую функцию, представляющую собой функцию суммарных затрат, связанных с расходом топлива в тепловых электростанциях (ТЭС):

$$B = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n B_i^{(t)}(P_i^{(t)}) \rightarrow \min ; \quad (1)$$

с учетом ограничений:

- по балансу мощности в каждом временном интервале рассматриваемого периода T :

$$\sum_{i=1}^n P_i^{(t)} + P_{ВИЭ}^{(t)} + P_S^{dch(t)} = P_n^{(t)} + P_S^{ch(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T ; \quad (2)$$

- по допустимой минимальной и максимальной мощностям ТЭС:

$$P_i^{(t)min} \leq P_i^{(t)} \leq P_i^{(t)max}, \quad i = 1, 2, n; \quad t = 1, 2, \dots, T ; \quad (3)$$

- по допустимой минимальной и максимальной зарядной мощностям накопителя энергии:

$$0 \leq P_S^{ch(t)} \leq P_S^{ch.max}, \quad t = 1, 2, \dots, T ; \quad (4)$$

$$0 \leq P_S^{dch(t)} \leq P_S^{dch.max}, \quad t = 1, 2, \dots, T ; \quad (4a)$$

- по допустимой минимальной и максимальной энергиям (ёмкости) заряда и разряда накопителя энергии:

$$W_S^{min} \leq W_S^{(t)} \leq W_S^{max}, \quad t = 1, 2, \dots, T ; \quad (5)$$

где n - число ТЭС, участвующих в оптимизации; T - число временных интервалов в течении рассматриваемого периода; $P_i^{(t)}$, $P_S^{ch(t)}$, $P_S^{dch(t)}$ - мощности i - й ТЭС, заряда и разряда накопителя в t - м временном интервале рассматриваемого периода, соответственно; $P_{ВИЭ}^{(t)}$, $P_n^{(t)}$ - суммарная мощность станций, работающих на возобновляемые источники энергии, и нагрузка энергосистемы в t - м временном интервале; $P_S^{ch.max}$, $P_S^{dch.max}$ - допустимые максимальные мощности заряда и разряда накопителя; $W_S^{(t)}$, W_S^{min} , W_S^{max} - количество энергии в накопителе в t - м временном интервале, а также её допустимые минимальное и максимальное значения.

В случаях использования в качестве накопителя энергии аккумуляторной батареи, W_S^{min} представляет собой количество энергии, соответствующее наибольшей глубине её разряда. Если принять, что энергия заряда в накопителе в начале и конце периода планирования равняется W_S^{min} , то количества энергии заряда и разряда накопителя за период планирования T должно быть одинаковыми, т.е. должна выполняться следующие условие:

$$\sum_{t=1}^T P_S^{ch(t)} = \sum_{t=1}^T P_S^{dch(t)} = W_S^{max} - W_S^{min} . \quad (6)$$

Интегральное ограничение (5) можно заменит следующими ограничениями, выраженными через неизвестные зарядные и разрядные мощности накопителя:

$$\sum_{i=1}^t P_S^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t P_S^{dch(i)} \leq W_S^{max} - W_S^{min}, \quad t = 1, 2, \dots, T ; \quad (7)$$

$$-\sum_{i=1}^t P_S^{ch(i)} + \sum_{i=1}^t P_S^{dch(i)} \leq -W_S^{\min}, \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (7a)$$

Оптимальное планирование режима энергосистемы на период T предусматривает определение для каждого интервала времени оптимальных мощностей расчетных станций и мощностей заряда и разряда накопителя, при которых целевая функция (1) имеет минимальное значение и выполняются приведенные выше ограничения. В результате, одновременно с решением задачи в пределах заданных ограничений выравняется суммарный график нагрузки потребителей за счет регулирующей возможности накопителя энергии. Поэтому рассматриваемую задачу можно решать на основе деления её на два этапа. На первом этапе отдельно решается задача выравнивания графика нагрузок потребителей за счет использования регулирующей возможности накопителя. А на втором этапе осуществляется оптимизация режима энергосистемы использованием полученного в результате выполнения первого этапа выравненного графика нагрузки на основе использования традиционных методов и алгоритмов. Ниже рассмотрим проблемы, связанные с выполнением первого этапа.

В задаче выравнивания графиков нагрузок целевая функция представляется в следующем виде:

$$f = \sum_{t=1}^T \left(P_{n.p}^{(t)} - \frac{\sum_{i=1}^T P_n^{(i)}}{T} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (8)$$

где $P_{n.p}^{(t)}$ - расчетная нагрузка в t - м временном интервале, получаемая в результате выравнивания графика.

Минимизация последней функции осуществляется по $P_{n.p}^{(t)}$, $P_S^{ch(t)}$, $P_S^{dch(t)}$ с учетом ограничений по балансу мощности в каждом временном интервале:

$$P_{n.p}^{(t)} + P_S^{ch(t)} - P_S^{dch(t)} = P_n^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (9)$$

по допустимым расчетным нагрузкам:

$$P_{n.p}^{(t)\min} \leq P_{n.p}^{(t)} \leq P_{n.p}^{(t)\max}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (10)$$

и (4), (4а), (6), (7), (7а).

Предлагаемый алгоритм решения полученной задачи предусматривает минимизацию функции (8) с учетом ограничений в виде равенств (9) и (6) методом неопределенных множителей Лагранжа, функциональных ограничений в виде неравенств (7) и (7а) методом штрафных функций и простых ограничений (10), (4) и (4а) на основе закрепления вышедших за допустимые пределы переменных на соответствующих значениям нарушения границ. Таким образом, осуществляется минимизация обобщенной целевой функции:

$$F = f + \sum_{t=1}^T \mu_1^{(t)} (P_{n,p}^{(t)} + P_S^{ch(t)} - P_S^{dch(t)} - P_n^{(t)}) + \mu_2 \left(\sum_{t=1}^T P_S^{ch(t)} - W_S^{\max} + W_S^{\min} \right) + \mu_3 \left(\sum_{t=1}^T P_S^{dch(t)} - W_S^{\max} + W_S^{\min} \right) + \sum_{t=1}^T \Pi_1^{(t)} + \sum_{t=1}^T \Pi_2^{(t)} \rightarrow \min; \quad (11)$$

с учетом ограничений (10), (4) и (4а). Здесь $\mu_1^{(t)}$, μ_2 , μ_3 - неопределенные множители Лагранжа, учитывающие соответствующих ограничений; $\Pi_1^{(t)}$, $\Pi_2^{(t)}$ - штрафные функции, учитывающие функциональных ограничений в виде неравенств (7) и (7а), которые имеют квадратичные формы, как в [3, 4].

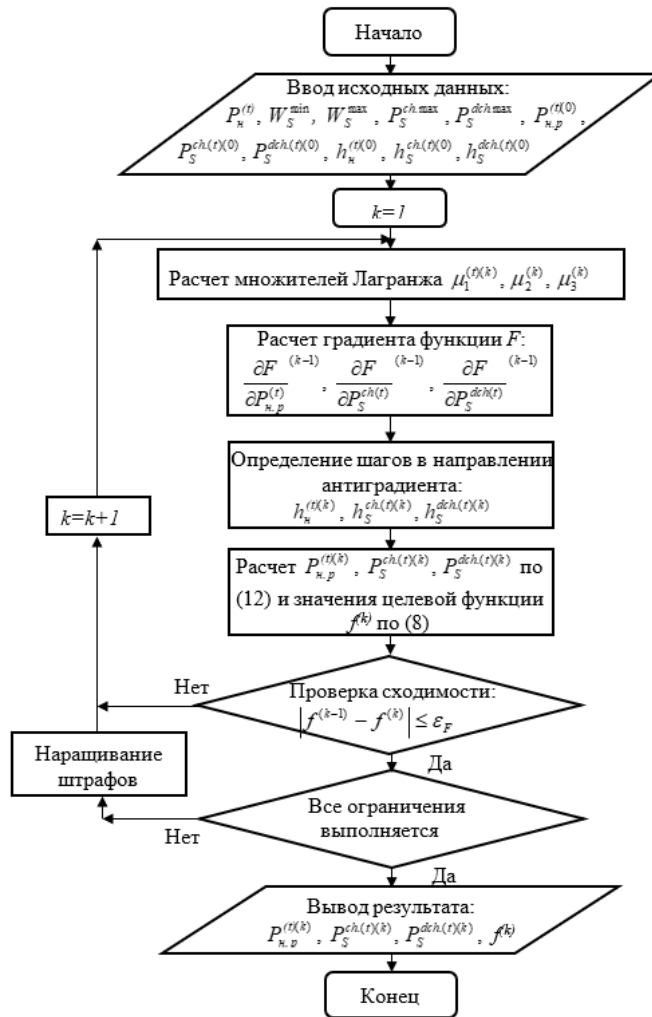


Рис.1. Укрупненная блок-схема алгоритма оптимизации

Значения неопределенных множителей Лагранжа $\mu_1^{(t)}$, μ_2 , μ_3 на каждой k -й итерации находятся на основе последовательного решения уравнений, получаемых в результате приравнивания нулю частных производных:

$$\frac{\partial F}{\partial P_{n.p}^{(t)}} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial P_S^{ch(t)}} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial P_S^{dch(t)}} = 0.$$

Оптимальные расчетные нагрузки, зарядные и разрядные мощности для каждого временного интервала на k -й итерации рассчитываются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} P_{n.p}^{(t)(k)} &= P_{n.p}^{(t)(k-1)} - h_n^{(t)(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P_{n.p}^{(t)}}, \\ P_S^{ch(t)(k)} &= P_S^{ch(t)(k-1)} - h_S^{ch(t)(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P_S^{ch(t)}}, \\ P_S^{dch(t)(k)} &= P_S^{dch(t)(k-1)} - h_S^{dch(t)(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P_S^{dch(t)}}. \end{aligned} \right\}; \quad (12)$$

где $h_n^{(t)(k)}$, $h_S^{ch(t)(k)}$, $h_S^{dch(t)(k)}$ - шаги в направлении антиградиента по $P_{n.p}^{(t)}$, $P_S^{ch(t)}$, $P_S^{dch(t)}$ в k -й итерации, определяемые как в [2-4].

Условием сходимости итеративного процесса является:

$$|f^{(k-1)} - f^{(k)}| \leq \varepsilon_F; \quad (13)$$

при выполнении всех заданных ограничений. В случаях обеспечения условий (13) при нарушенных ограничениях, осуществляется наращивание штрафов для таких ограничений и переходит к следующей итерации расчета.

Укрупненная блок-схема предложенного алгоритма приведена на рис. 1.

Результаты. Эффективность предложенной математической модели и алгоритма оптимизации исследована на примере выравнивания суточных графиков суммарных нагрузок потребителей в центральной части магистральных электрических сетей АО «НЭС Узбекистана» за счет использования регулирующих возможностей накопителей энергии.

За расчетный принят суточный график 15.06.2022 г., который представлен восемью характерными временными интервалами (табл. 2).

Таблица 1

Суточный график суммарных нагрузок потребителей								
Интервал	1	2	3	4	5	6	7	8
t , ч.	0-4	4-8	8-10	10-14	14-16	16-18	18-22	22-24
$P_n^{(t)}$, МВт	2196	2534	2965	3395	2965	2664	3300	2664

В качестве примера выбран накопитель энергии со следующими параметрами:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

$W_S^{\max}=800$ МВт.ч., $W_S^{\min}=160$ МВт.ч., $P_S^{ch.\max}=400$ МВт, $P_S^{ch.\min}=0$, $P_S^{dch.\max}=400$ МВт, $P_S^{dch.\min}=0$.

В начале суток энергия, сохраненная в накопителе составляет $W_S^{\min}=160$ МВт.ч.

В табл. 2 приведены результаты оптимизации: графики суммарной нагрузки $P_H(t)$, расчетной нагрузки после выравнивания использованием накопителя $P_{H,P}(t)$, зарядки $P_S^{ch}(t)$ и разрядки $P_S^{dch}(t)$ накопителя.

Таблица 2

Результаты оптимизации суточного графика суммарных нагрузок

Интерва	1	2	3	4	5	6	7	8
t , ч. л	0-4	4-8	8-10	10-14	14-16	16-18	18-22	22-24
$P_H(t)$, МВт	2196	2534	2965	3395	2965	2664	3300	2664
$P_{H,P}(t)$, МВт	2304,3	2585,7	2935,9	3264,1	2935,9	2980,0	3120,0	2664,0
$P_S^{ch.(t)}$, МВт	108,3	51,7	0,0	0,0	0,0	320,0	0,0	0,0
$P_S^{dch.(t)}$, МВт	0,0	0,0	29,1	130,9	29,1	0,0	160,0	0,0

На рис. 2 представлены суточные графики исходных и расчетных суммарных нагрузок $P_H(t)$, $P_{H,P}(t)$, а на рис. 3 графики зарядки и разрядки накопителя $P_S^{ch}(t)$, $P_S^{dch}(t)$. При этом разрядная мощность показана с отрицательным знаком.

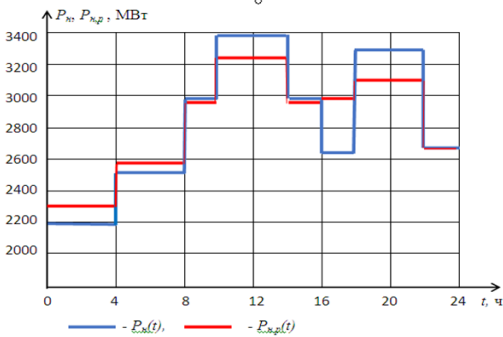


Рис. 2. Суточные графики исходных и расчетных нагрузок

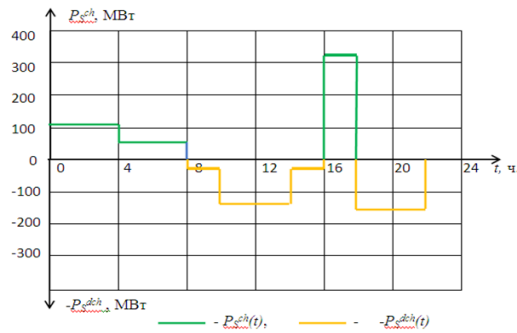


Рис.3. Суточные графики зарядки и разрядки накопителя энергии

Анализ полученных результатов показывает, что применение предложенной математической модели и алгоритма оптимизации при планировании краткосрочных режимов энергосистем позволяет значительно уменьшить затраты, связанные с производством и передачей электроэнергии, а также снизить загрузку элементов электрических сетей за счет выравнивания графиков нагрузок на основе использования регулирующих возможностей накопителей. В частности, разность

между максимальной и минимальной суммарными нагрузками за сутки уменьшается с 1199 МВт до 960 МВт.

Заключение. 1. Предложены математическая модель и алгоритм оптимизации режимов энергосистем, содержащие накопители энергии, с учетом выравнивания графиков нагрузок потребителей.

2. На основе выполненных исследований на примере центральной части магистральных электрических сетей АО «НЭС Узбекистана» установлено, что применение предложенных модели и алгоритма позволяет значительно уменьшить затраты связанные с производством электроэнергии, и снизить загрузку электростанций и сетей за счет одновременного выравнивания графиков нагрузок посредством регулирования зарядной и разрядных мощностей накопителей энергии.

3. Предложенная математическая модель и алгоритм оптимизации могут быть использованы при планировании краткосрочных режимов электроэнергетических систем, содержащих в своем составе накопители энергии.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. – Т. Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi, 2021. - 952 с.

2. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш., Ситдиқов Р.А., Васильев В.Г. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. – Т.:Иновацион ривожланиш нашриёт-мапбаа уйи. 2020. -276 с.

3. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: Фан ва технология, 2014. - 184 с.

4. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014. 188 с.

5. Реймов К.М. Оптимальное управление нагрузками электропотребителей энергосистем: дис. PhD. Защищена 2018 г. 138 с.

6. Савина Н.В., Лисогурская Л.Н., Лисогурский И.А. Накопители электрической энергии как средство повышения надежности и экономичности функционирования электрической сети. // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 2(92). DOI: <http://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.012>.

7. Бахтеев К.Р. Повышение эффективности функционирования систем централизованного и автономного электроснабжения путем комплексного применения электрохимических накопителей энергии, малой генерации и форсировки возбуждения синхронных машин: дисс. канд. техн. наук : защищена 2019 г.. -190 с.

8. Кононенко В.Ю., Вещунов О.В., Биляшенко В.П., Смоленцев Д.О. Эффекты применения накопителей энергии в изолированных энергосистемах России. // Актика: экология и экономика. № 2(14), 2014. С. 61-66.

9. Карасевич В.А. Использование систем накопления энергии для хранения энергии в автономных энергосистемах. // СОК. 2023. - №7. - С. 68-70.

10. Гуртовцев А., Забелло Е. Электрическая нагрузка энергосистемы. Выравнивание графика //Новости электротехники. 6(78) 2012. <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/54/10.php>.

11. M.R. Sheibani et al., Energy storage system expansion planning in power systems: a review. IET Renew. Power Gener. 12, 1203–1221 (2018).

12. Patrick Balducci, Kendall Mongird, Mark Weimar. Understanding the Value of Energy Storage for Power System Reliability and Resilience Applications. Current Sustainable/Renewable Energy Reports (2021) 8:131-137. <https://doi.org/10.1007/s40518-021-00183-7>.

13. F N Tsany, A A Widayat, D R Aryani, F H Jufri and I M Ardita. Power system stability improvement using Battery Energy Storage System (BESS) in isolated grid. /IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/599/1/012025.

14. Tulkin Gayibov and Elnur Abdullaev. Optimization of daily operation mode of photovoltaic systems of enterprises. E3S Web of Conferences 264, 04063 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404063>.

15. T.Sh. Gayibov, B.A. Uzakov, E.A. Abdullaev. (2020) Optimization of loading schedules of consumers with own stations on the basis of renewable energy sources. Journal of critical reviews. 7(15) 1738-1742.

Представлено Ташкентским государственным техническим университетом и АО “Национальные электрические сети Узбекистана”

УДК 621.314.263

ФЕРРОРЕЗОНАНС НА ЧАСТОТЕ СУБГАРМОНИК В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ЦЕПЯХ**М.М. Ибадуллаев**

Маълумки, электр таъминоти тизимларида, яъни феррорезонансли занжирларда субгармоник тебранишлар юзага келганда ток ёки кучланишларнинг зўриқиши натижасида электр таъминоти тизимининг ишдан чиқишига сабаб бўлади. Бундан ташқари ночизиқли электроферромагнитли занжирлар асосида турли частота ўзгартгичли қурилмаларни ҳам ясаиш мумкин. Умуман олганда юқори кучланишли узатиш линиялари, электр таъминот тизимлари трансформатор, компенсацияловчи конденсатор ёки реакторлардан тузилган бўлиб, феррорезонансли занжир электр узатиш линиялари эквиволент ўхшаи схемасига мос келади. Мақолада электроферромагнитли ток занжирларда ҳосил бўладиган субгармоник тебранишларнинг хусусиятларини ўрганиш ва таҳлил қилиш учун назарий, математик моделини тузиш ва эксперимент ўтказиш асосида тадқиқот қилинган. Математик усул ёрдамида электроферромагнитли занжир учун тузилган дифференциал тенгламани ечиш билан субгармоник ($w/3$) тебранишлар турғун ҳолатдаги чегараланиши, уйғонишига сабаб бўладиган занжир параметр қийматлари ҳисоблаб топилган.

Калит сўзлар: феррорезонанс, ўз-ўзидан тебранишлар, субгармоник яқинлашиш, энг кичик гармоника, кичик параметрлар, ферромагнит элемент.

Известно, что возникновение и существование феррорезонансных колебаний на частоте субгармоник (СГК) в линиях электропередачи (ЛЭП) и в системах электроснабжения крайне нежелательно, так как они вызывают феррорезонансные перенапряжения на различных частотах. Вместе с тем существует обширный класс нелинейных электрических цепей, в которых возбуждение автопараметрических колебаний (АПК) на частоте СГК составляет основу частотопреобразовательных устройств, служащих вторичными источниками питания. Показано, что трехфазные нелинейные системы являются в той или иной мере схемами замещения ЛЭП, основными элементами которых являются: конденсаторы продольной компенсации, реакторы поперечной компенсации, и трансформаторы с нелинейной характеристикой. Для изучения закономерностей возбуждения и поддержания СГК на частоте ($w/3$) в трехфазных электроферромагнитных цепях (ЭФМЦ) были проведены теоретические и экспериментальные исследования эквивалентной модели трехфазной цепи с нелинейной индуктивностью. Для анализа установившегося режима СГК на частоте ($w/3$) был применен метод малого параметра (усреднение). Получены дифференциальные уравнения движения для трехфазной нелинейной цепи. Решая их, определяются области существования СГК ($w/3$) и критические параметры цепи.

Полученные результаты теоретического исследования подтверждены проведением экспериментов.

Ключевые слова: феррорезонанс, автоколебания, субгармоника, аппроксимация, низшая гармоника, малые параметры, ферромагнитный элемент.

It is known that the occurrence and existence of ferroresonant oscillations at the subharmonic frequency (SHA) in power transmission lines (PTLs) and in power supply systems is extremely undesirable, since they cause ferroresonant overvoltages at various frequencies. At the same time, there is a wide class of nonlinear electrical circuits in which the excitation of autoparametric oscillations (APO) at the SGC frequency forms the basis of frequency-converting devices that serve as secondary power sources. It is shown that three-phase nonlinear systems are, to one degree or another, equivalent circuits for power lines, the main elements of which are: longitudinal compensation capacitors, transverse compensation reactors, and transformers with a nonlinear characteristic. To study the pattern of excitation and maintenance of SGC at frequency ($\omega/3$) in three-phase electroferromagnetic circuits (EFMC), theoretical and experimental studies were carried out on an equivalent model of a three-phase circuit with nonlinear inductance. To analyze the steady-state mode of the SGC at frequency ($\omega/3$), the small parameter method (averaging) was applied. A shortened differential equation of motion for a three-phase nonlinear circuit is obtained. Solving them, the regions of existence of the SGC ($\omega/3$) and the critical parameters of the circuit were determined. The obtained results of the theoretical study were confirmed by experimental studies.

Key words: ferroresonance, self-oscillations, subharmonic, approximation, lowest harmonic, small parameters, ferromagnetic element.

Введение. Электрические системы в большом количестве содержат элементы, обладающие значительной индуктивностью (генераторы, трансформаторы, реакторы и т.д.). С другой стороны, линии электропередач обладают емкостями относительно земли и между фазами. Часто для регулирования напряжения и повышения устойчивости параллельной работы включаются дополнительные емкости относительно земли в рассечку линии.

Комбинации таких индуктивностей и емкостей создают в схеме электрической системы ряд сложных колебательных контуров.

В нормальном режиме работы системы емкости и индуктивности этих контуров шунтированы нагрузкой или присоединены непосредственно на зажимы мощного источника так, что в них не могут развиваться свободные колебания.

При различных коммутациях в системе часть колебательных контуров может обуславливаться и в них развиваются энергичные колебания, приводящие к существенным перенапряжениям [1,2,3,4,7,8,9,10,11,12].

Экспериментальным и аналитическим исследованиям физики явления субгармонических колебаний в трехфазных цепях, его количественной и качественной оценки в зависимости от параметров цепи и приложенного воздействия посвящен ряд работ [2,3,4,8,10,11,12] результаты которых могут дать

предупредительные рекомендации при эксплуатации и проектировании ЛЭП с целью уменьшения их аварийности, а также при разработке устройства переключателей переменного тока.

Анализ условий возбуждения субгармонических режимов трехфазных нелинейных систем, в зависимости от параметров цепи, и приложенного воздействия позволяет выявить основные закономерности перенапряжений в ЛЭП и возможные мероприятия по предотвращению или же снижению их до допустимых величин.

Несмотря на обилие публикация, освещённых субгармоническим колебаниям в трехфазных цепях, процессы в них освещены на основе чисто экспериментальных данных, процессы в них освещены на основе чисто экспериментальных данных, теоретический анализ проведен для однофазного аналога трехфазной цепи искажающего количественную и качественную сторону процесса. Это связано с решением нелинейных систем неоднородных дифференциальных уравнений, правая часть которых имеет фиксированные сдвиги фаз.

Условия возбуждения и характер протекания процессов АПК в феррорезонансной цепи зависят в основном от параметров цепи, от степени нелинейности индуктивности, начальных условий, амплитуды и фазы входного воздействия. [1,9,10,11,12]

В трех и многофазных электроферромагнитных цепях (ЭФМЦ) условия возбуждения и поддержания АПК зависят еще от структуры цепи и способов соединения ее элементов, а также нелинейного взаимодействия ферромагнитных элементов (ФЭ) в фазах.

Анализ условий возбуждения субгармонических колебаний (СГК) в трёхфазных нелинейных системах с учетом параметров цепи и приложенного напряжения позволяет выявить основные закономерности перенапряжений в ЛЭП и по возможности принять меры по предотвращению таких аномальных режимов или смягчению их отрицательных последствий.

1. Вывод уравнения движения. Для изучения закономерности возбуждения субгармонических колебаний $\left(\frac{\omega}{3}\right)$ в трехфазных нелинейных цепях были проведены теоретические и экспериментальные исследования эквивалентной модели трехфазной цепи с последовательно-соединенными элементами с изолированной нейтралью (рис. 1).

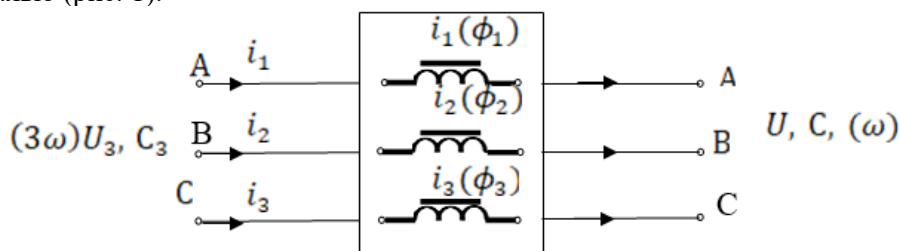


Рис.1 Симметричная трехфазная феррорезонансная схема с последовательно-соединенными элементами (ЭФМЦ)

Приведенная схема на рис.1 по законам Кирхгофа описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Phi_1}{dt^2} + R_0 \frac{di_0}{dt} + R \frac{di_1}{dt} &= \omega U_m \cos\omega t, \\ \frac{d^2\Phi_2}{dt^2} + R_0 \frac{di_0}{dt} + R \frac{di_2}{dt} &= \omega U_m \cos[\omega t - 120^\circ], \\ \frac{d^2\Phi_3}{dt^2} + R_0 \frac{di_0}{dt} + R \frac{di_3}{dt} &= \omega U_m \cos[\omega t + 120^\circ], \\ \frac{di_0}{dt} &= \frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} + \frac{di_3}{dt}, \end{aligned} \quad (1)$$

где Φ_1, Φ_2, Φ_3 – потоки ферромагнитных элементов;
 i_1, i_2, i_3 – фазные токи;
 R_0 – активное сопротивление нейтралей;
 R, C – активное сопротивление и емкость каждой фазы.

Аппроксимируя нелинейную вебер-амперную характеристику

ферромагнитных элементов в виде: $i_v = \alpha\Phi_v + \beta\Phi_v^3$. (2)

Здесь α и β - коэффициенты аппроксимирующей функции, $v = 1, 2, 3$ – порядок фаз.

Из (1) с учетом (2) после преобразования получим систему нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка с нулевым проводом:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Phi_v}{dt^2} + R_0\alpha \sum_{n=1}^3 \frac{d\Phi_n}{dt} + \frac{\alpha}{C}\Phi_v + \frac{\beta}{C}\Phi_v^3 + 3\beta R_0 \sum_{n=1}^3 \Phi_n^2 \frac{d\Phi_n}{dt} + 3\beta R\Phi_v^2 \frac{d\Phi_v}{dt} + \\ + R\alpha \frac{d\Phi_v}{dt} = \omega U_{mv} \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi(v-1)}{3}\right). \end{aligned} \quad (3)$$

Решения дифференциальных уравнений. Рассмотрим процесс возбуждения и существование СГК $\left(\frac{\omega}{3}\right)$ в феррорезонансных схемах с последовательно-соединенными элементами (рис.1).

Учитывая фазовые соотношения для трехфазной цепи субгармонического режима $\left(\frac{\omega}{3}\right)$ методом усреднения [5] получены укороченные уравнения, описывающие динамику системы.

Нелинейные дифференциальные уравнения трехфазный ЭФМЦ с нулевым проводом (3) после перехода к новому времени $t = 3\tau/\omega$ представим в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Phi_v}{d\tau^2} + \delta_0 \sum_{n=1}^3 \frac{d\Phi_n}{d\tau} + h_0 \sum_{m=1}^3 \Phi_m^2 \frac{d\Phi_m}{d\tau} + \mu h \Phi_v^2 \frac{d\Phi_v}{d\tau} + \delta \frac{d\Phi_v}{d\tau} + k_0 \Phi_v + k\mu\Phi_v^3 = \\ = G \cos \left[3\tau + \varphi - \frac{(v-1)2\pi}{3} \right]; \end{aligned} \quad (4)$$

где: μ – малый параметр ($0 < \mu < 1$);

$$\begin{aligned} \delta_0 = \frac{3R_0\alpha}{\omega}; \quad \delta = \frac{3R\alpha}{\omega}; \quad h_0 = \frac{3R_0\beta}{\omega}; \quad h = \frac{3R\beta}{\omega} \\ k_0 = \frac{9\alpha}{\omega^2 C}; \quad k = \frac{9\beta}{\omega^2 C}; \quad G = \frac{9U_m}{\omega}; \quad \tau = \frac{\omega t}{3}. \end{aligned} \quad (5)$$

Пользуясь методом Боголюбова Н.Н., Метропольского Ю.А. [5], и принимая во внимание фазовые соотношения $\varphi = \frac{(v-1)2\pi}{M}$ для трех вариантов сдвига фаз по субгармонике, решение уравнений (4) имеет вид:

$$\Phi_v = \Phi_{v_3} e^{-j\left[\tau - \frac{(v-1)2\pi q}{9}\right]} + \Phi_v e^{-j\left[3\tau - \frac{(v-1)2\pi q}{3}\right]} + kC + \mu W_{v(\tau)}; \quad (6)$$

где kC – комплексное сопряжения значение комплексных чисел;

q – порядок следования фаз ($q=1,2$);

Φ_v и Φ_{v3} – медленно меняющиеся комплексные амплитуды основных и субгармонических колебаний;

W_v – ограниченная функция порядков Φ_v и Φ_{v3} .

Подставив (6) в (4) пренебрегая членами порядка μ^2 , используя следующие ограничения:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H_v e^{j\left[\tau - \frac{(v-1)2\pi}{9}\right]} d\tau = 0; \\ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H_v e^{j\left[3\tau - \frac{(v-1)2\pi}{3}\right]} d\tau = 0; \end{aligned} \quad (7)$$

получим упрощенные уравнения для каждой фазы трехфазной цепи в комплексных амплитудах:

$$\begin{aligned}
 & 2j\dot{\Phi}_{13} + \xi\Phi_{13} + j\delta\Phi_{13} - k(3\Phi_{13}^2\bar{\Phi}_{13} + 6\Phi_{13}\Phi_1\bar{\Phi}_1 + 3\bar{\Phi}_{13}^2\Phi_1) + \\
 & + j\delta_0(1 + e^{j160^\circ} + e^{j40^\circ})\Phi_{13} = 0; \\
 & 6j\dot{\Phi}_1 + \xi\Phi_1 + 3j\delta\Phi_1 - k(3\Phi_1^2\bar{\Phi}_1 + 6\Phi_1\Phi_{13}\bar{\Phi}_{13} + \bar{\Phi}_{13}^3) = 0; \\
 & 2j\dot{\Phi}_{23} + \xi\Phi_{23} + j\delta\Phi_{23} - k(3\Phi_{23}^2\bar{\Phi}_{23} + 6\Phi_{23}\Phi_2\bar{\Phi}_2 + 3\bar{\Phi}_{23}^2\Phi_2) + \\
 & + j\delta_0(e^{-j160^\circ} + 1 + e^{j40^\circ})\Phi_{23} = 0; \\
 & 6j\dot{\Phi}_2 + \xi\Phi_2 + 3j\delta\Phi_2 - k(3\Phi_2^2\bar{\Phi}_2 + 6\Phi_2\Phi_{23}\bar{\Phi}_{23} + \bar{\Phi}_{23}^3) = 0; \\
 & 2j\dot{\Phi}_{33} + \xi\Phi_{33} + j\delta\Phi_{33} - k(3\Phi_{33}^2\bar{\Phi}_{33} + 6\Phi_{33}\Phi_3\bar{\Phi}_3 + 3\bar{\Phi}_{33}^2\Phi_3) + \\
 & + j\delta_0(e^{-j160^\circ} + e^{-j40^\circ} + 1)\Phi_{33} = 0; \\
 & 6j\dot{\Phi}_3 + \xi\Phi_3 + 3j\delta\Phi_3 - k(3\Phi_3^2\bar{\Phi}_3 + 6\Phi_3\Phi_{33}\bar{\Phi}_{33} + \bar{\Phi}_{33}^3) = 0.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Переходя от комплексных величин к действительным амплитудам и фазам используем выражения:

$$\Phi_{v_3} = \Phi_{v_3} \cdot e^{j\varphi_{v_3}}; \quad \bar{\Phi}_{v_3} = \Phi_{v_3} \cdot e^{-j\varphi_{v_3}}; \quad \Phi_v = \Phi_v \cdot e^{j\varphi_v}; \quad \bar{\Phi}_v = \Phi_v \cdot e^{-j\varphi_v}. \tag{9}$$

Из (8) и (9) получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned}
 & 3\dot{\Phi}_1 = -3\delta\Phi_1 + k\Phi_{13}^3 \sin(\varphi_1 - 3\varphi_{13}); \\
 & 3\Phi_1\dot{\varphi}_1 = \xi\Phi_1 - k(\Phi_1^3 + 2\Phi_1\Phi_{13}^2) - 3k\Phi_{13} \cos(\varphi_1 - 3\varphi_{13}); \\
 & 3\dot{\Phi}_2 = -3\delta\Phi_2 + k\Phi_{23}^3 \sin(\varphi_2 - 3\varphi_{23}); \\
 & 3\Phi_2\dot{\varphi}_2 = \xi\Phi_2 - k(\Phi_2^3 + 2\Phi_2\Phi_{23}^2) - 3k\Phi_{23} \cos(\varphi_2 - 3\varphi_{23}); \\
 & 3\dot{\Phi}_3 = -3\delta\Phi_3 + k\Phi_{33}^3 \sin(\varphi_3 - 3\varphi_{33}); \\
 & 3\Phi_3\dot{\varphi}_3 = \xi\Phi_3 - k(\Phi_3^3 + 2\Phi_3\Phi_{33}^2) - 3k\Phi_{33} \cos(\varphi_3 - 3\varphi_{33}).
 \end{aligned} \tag{10}$$

Дифференцирование уравнений (11) выполнено по времени $\tau/3$.

2. Анализ установившегося режима. Установившийся режим СГК третьего порядка определяем из уравнений (10), приравняв нулю производные:

$$\dot{\Phi}_{v_3} = 0, \quad \dot{\varphi}_{v_3} = 0, \quad \dot{\Phi}_{v_1} = 0, \quad \dot{\varphi}_{v_1} = 0.$$

В результате этого получим уравнения для амплитудно-частотных характеристик системы:

$$\begin{aligned}
\delta + 0.82\delta_0 &= 3k\Phi_{13}\Phi_1 \sin(3\varphi_{13} - \varphi_1); \\
-\xi + 0.3\delta_0 - k(3\Phi_{13}^2 + 6\Phi_1^2) &= 3k\Phi_{13}\Phi_1 \cos(3\varphi_{13} - \varphi_1); \\
\delta + 0.82\delta_0 &= 3k\Phi_{23}\Phi_2 \sin(3\varphi_{23} - \varphi_2); \\
-\xi + 0.3\delta_0 - k(3\Phi_{23}^2 + 6\Phi_2^2) &= 3k\Phi_{23}\Phi_2 \cos(3\varphi_{23} - \varphi_2); \\
\delta + 0.82\delta_0 &= 3k\Phi_{33}\Phi_3 \sin(3\varphi_{33} - \varphi_3); \\
-\xi - k(3\Phi_{33}^2 + 6\Phi_3^2) &= 3k\Phi_{33}\Phi_3 \cos(3\varphi_{33} - \varphi_3).
\end{aligned} \tag{11}$$

Для определения амплитуды СГК, в зависимости от параметров системы и приложенного воздействия, возведем уравнения (11) в квадрат и сложим их. Производя замену $\Phi_{v3}^2 = y$, $\Phi_{v1}^2 = x$, получим уравнения кривых второго порядка:

$$\begin{aligned}
36x_1^2 + 9y_1^2 + 27x_1y_1 + 12\frac{-\delta - 0.3\delta_0}{k}x_1 + 6\frac{-\xi - 0.3\delta_0}{k}y_1 + \frac{(\delta + 0.82\delta_0)^2}{k^2} + \frac{-(\xi - 0.3\delta_0)^2}{k^2} &= 0; \\
36x_2^2 + 9y_2^2 + 27x_2y_2 + 12\frac{-\delta + 0.3\delta_0}{k}x_2 + 6\frac{-\xi + 0.3\delta_0}{k}y_2 + \frac{(\delta + 0.82\delta_0)^2}{k^2} + \frac{-(\xi + 0.3\delta_0)^2}{k^2} &= 0; \\
36x_3^2 + 9y_3^2 + 27x_3y_3 + 12\frac{-\xi}{k}x_3 + 6\frac{-\xi}{k}y_3 + \frac{(\delta + 0.867\delta_0)^2}{k^2} + \frac{-\xi^2}{k^2} &= 0.
\end{aligned} \tag{12}$$

инварианты для (12) равны:

$$\begin{aligned}
\Delta_1 &= 142 \left[\left(\delta + \frac{0.82\delta_0}{k^2} \right)^2 - 0.14 \left(\frac{-\xi - 0.3\delta_0}{k^2} \right)^2 \right]; \\
\Delta_2 &= 142 \left[\left(\delta + \frac{0.82\delta_0}{k^2} \right)^2 - 0.14 \left(\frac{-\xi + 0.3\delta_0}{k^2} \right)^2 \right]; \\
\Delta_3 &= 142 \left[\left(\delta + \frac{0.867\delta_0}{k^2} \right)^2 - 0.14 \left(\frac{-\xi}{k^2} \right)^2 \right]; \\
f_v &= 142; \quad s_v = 45;
\end{aligned} \tag{13}$$

$$f_v = 142; \quad s_v = 45; \tag{14}$$

где f_v и s_v - постоянные коэффициенты.

Если в (14) $\Delta_v / f_v < 0$ то уравнения описывают действительные эллипсы (рис.2), то ее положительному значению квадратов амплитуды основной гармоники (Φ_v^2) соответствует положительное значение квадратов амплитуды СГК (Φ_{v3}^2), т.е. эллипсы находятся в первом квадрате: $X_y > 0$, $Y_y > 0$.

Из уравнений (12) координаты центров эллипсов будут:

$$\begin{aligned}
 x_{10} &== \frac{13,5}{142k} (\xi - 0.3\delta_0) > 0; & y_{10} &= 2x_1 > 0; \\
 x_{20} &== \frac{13,5}{142k} (\xi + 0.3\delta_0) > 0; & y_{20} &= 2x_2 > 0; \\
 x_{30} &== \frac{13,5}{142k} \xi > 0; & y_{30} &= 2x_3 > 0.
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Из (15) следует, что координаты центра эллипса будут смещаться с изменением параметров цепи, и эллипсы повернуты относительно осей координат на угол $tg2\alpha=2b/a \cdot c=1$, не зависящий от параметров цепи и равный $22^{\circ}30'$ для всех трех фаз. Длина полуосей эллипсов определяется по выражению:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \sqrt{-\frac{1}{3.5} \left[\left(\frac{\delta + 0.82\delta_0}{k} \right)^2 - \left(\frac{\xi - 0.82\delta_0}{k} \right)^2 \cdot 0.14 \right]}; & \sigma_1^2 &= 0,082a_1^2; \\
 a_2 &= \sqrt{-\frac{1}{3.5} \left[\left(\frac{\delta + 0.82\delta_0}{k} \right)^2 - \left(\frac{\xi + 0.82\delta_0}{k} \right)^2 \cdot 0.14 \right]}; & \sigma_2^2 &= 0,082a_2^2; \\
 a_3 &= \sqrt{-\frac{1}{3.5} \left[\left(\frac{\delta + 0.862\delta_0}{k} \right)^2 + \left(\frac{\xi}{k} \right)^2 \cdot 0.14 \right]}; & \sigma_3^2 &= 0,082a_3^2.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Отношение полуосей эллипсов постоянно, поэтому при изменении параметров цепи эллипсы остаются подобными.

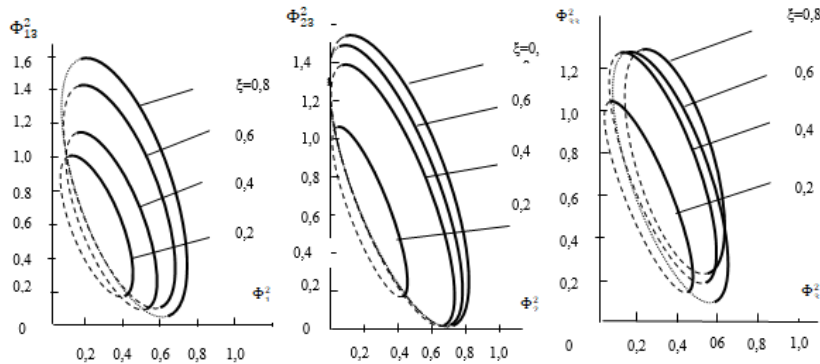


Рис. 2. Вход-выходные характеристики СГК третьего порядка, в зависимости от изменения ёмкости

Видно, что с увеличением расстройки (ξ) координаты центров и длина полуосей эллипсов увеличиваются, т.е. увеличивается область существования СГК.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости квадратов амплитуды СГК от квадратов амплитуды входного воздействия, полученные на ПК при вариациях параметров системы соответствующей области существования СГК (коэффициенты

нелинейной индуктивности $\alpha = 1,2$; $\beta = 0,8$; и при $R = 5$ Ом; $C = 80 \div 160$ мкФ).

Как следует из (рис.2) и выражений (15) - (16) с увеличением ξ возрастают субгармонические составляющие потока ФЭ и область их существования становится шире, а при достижении критического значения $\xi_{кр}$ происходит срыв колебаний. Из (16) следует, что область существования СГК ограничивается некоторыми максимальным и минимальным значениями ёмкости (расстройки) (рис.2). Если сопротивление нулевого провода $R_0=0$ ($\delta_0=0$), то амплитуды СГК в трех фазах одинаковы, а с увеличением R_0 они становятся различными.

В первой фазе при увеличении сопротивления нулевого провода субгармонические составляющие магнитного потока уменьшаются, тогда как в двух других фазах увеличиваются. Когда R_0 достигает некоторого критического значения, координаты центра эллипсов также стягиваются к нулю, что соответствует срыву СГК. (Семейство кривых эллипсов при $R = 5$ Ом, $C = 120$ мкФ, $R_0 = 0 \div 15$ Ом). С ростом R цепи сужается область существования СГК, при этом амплитуда СГК в одной фазе уменьшается, а в двух других увеличивается. Когда значение сопротивления в первой, второй и третьей фазах достигает некоторого критического значения, $\delta_{кр}$ ($R_{кр} = 15$ Ом) то координаты центров эллипсов становятся нулевыми ($x, y = 0$), что соответствует срыву колебаний во всех трех фазах. Здесь семейство кривых построен а при $R_0 = 2$ Ом, $C = 120$ мкФ, $R = 0 \div 15$ Ом.

3. Экспериментальные исследования. Теоретический анализ и результаты математического моделирования на ЭВМ показали, что СГК третьего порядка в симметричных трехфазных ЭФМЦ могут возникать при определенных соотношениях параметров цепи и приложенного напряжения, и ограничиваются некоторой областью существования. СГК третьего порядка в большинстве случаев возбуждаются “жестко” после коммутационных процессов и сопровождаются скачкообразным изменением токов, напряжений и нарушением симметрии системы. (рис.3).

Исследования показывают, что в схемах с нулевым проводом СГК третьего порядка могут существовать в одной, двух или одновременно в трех фазах, а в схемах без нейтрального провода в большинстве случаев, одновременно в трех фазах с различными вариантами сдвигов фаз между смежными фазами. Вероятность возникновения СГК третьего порядка в фазах с различными вариантами сдвигов фаз, в основном, зависит от начальных условий параметров цепи, приложенного напряжения, степени нелинейности ферромагнитных элементов, а также от условий коммутации.

Для получения достоверных результатов все опыты проводились многократно при различных значениях параметров и величины напряжения сети, влияющих на возбуждение и поддержание СГК.

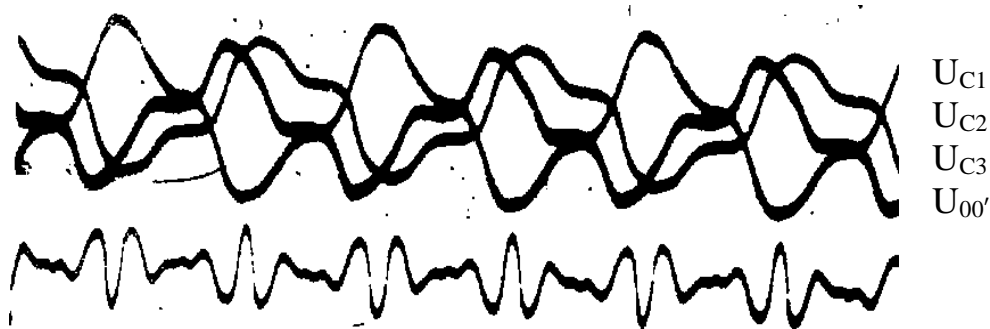


Рис.3. Осциллограммы напряжений в емкости

Заключение. 1. СГК в трехфазных нелинейных цепях и системах возбуждаются при определенных соотношениях параметров цепи, входного напряжения и нелинейностях ферромагнитных элементов, как в “мягком”, так и в “жестком” режиме и ограничивается некоторой областью существования.

2. В трехфазной феррорезонансной цепи возбуждение СГК и характер протекания переходного процесса зависят от структуры и способов соединения элементов цепи и от начальных условий, также значительное влияние оказывают амплитудно-фазовые взаимодействия частот и нелинейных взаимодействий отдельных фаз.

3. Возбуждение автоколебаний в одной фазе вызывает соответствующие реакции других фаз и, соответственно, срыв колебаний в какой-либо фазе отражается на всех остальных фазах.

4. При возбуждении автоколебаний на высших и низших частотах нарушается симметрия системы и появляются значительные токи и напряжения в фазах, линейных и нейтральных проводах, а также на отдельных элементах цепи.

Литература

1. Евдокунин Т.А., Титенков С.С Феррорезонансные перенапряжения при несимметричных включениях силовых трансформаторов 6-10 кВ. //Изв. Академии наук, Энергетика, 2001, - № 6. - С. 67–75.

2. Товбаев А.Н., Ибадуллаев М., Есенбеков А.К. К общей теории анализа СГК в трехфазных феррорезонансных цепях и системах. //Электричество. 2021. -№11. – С.22-35.

3. Васин В.П. Низкочастотные колебания в протяженных энергосистемах с переменными динамическими параметрами. //Изв. РАН, Энергетика, 1998, № 3. -С. 87–96.

4. Масленников В.А. Демпфирование низкочастотных колебаний в энергосистемах. //Изв. Вузов. Энергетика, 1995, -№ 5-6, - С. 9–14.

5. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. -М.:Наука, 1974. -503 с.

6. Ивашев В.Н. Колебания в нелинейных электрических системах. -Т.:Изд-во Фан. 1967. - 171 с.

7. Базуткин В.В., Кадомская К.П., Костенко М.В., Михайлов Ю.А. Перенапряжения в электрических системах и защита от них. – СПб: Энергоатомиздат, 2010, -С. 275.

8. Товбоев А.Н., Назаров А.И., Есенбеков А.Ж., Ибадуллаев М.И. Частотно-энергетические соотношения при анализе автопараметрических колебаний // Научно-технический и производственный журнал «Горный вестник», Узбекистан, 2017, - № 2, - С. 165–170.

9. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. М.: Высшая школа, 1977, - 264 с.

10. Ибадуллаев М., Товбаев А.Н., Есенбеков А.Ж. Автоколебания на частоте субгармоник в нелинейных электрических цепях и системах. /Материалы конференции “Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики”, вып. 70, книга 2, г. Иркутск 2019, -С.191-197.

11. Wright Jan A. Субгармонических колебания в энергосистемах Discuss «IEEE Trans Power Appar and System, 1970, - № 8. - С. 61–65.

12. Koshi Okumyra and Akira Kishima. 1/3 harmonic Oscillation in Three-phase Circuit with Series Condensers. “Met, Face End. Kyoto University”, 1971.33. -№3. -P. 134-150.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.3.042.2

**ИСТЕЪМОЛЧИЛАР ТОМОНИДАН КУЧЛАНИШ СИФАТИ БУЗИЛИШИГА
ТАЪСИРНИ БАҲОЛАШ УСУЛЛАРИ ТАҲЛИЛИ**

М.Қ. Бобожанов, С.К. Махмутханов

Мақолада электр энергиянинг сифати кўрсаткичларига истеъмолчилар томонидан кўрсатиладиган таъсир миқдорини баҳолашнинг учта усули таҳлил қилиб чиқилган. Биринчи, истеъмолчиларнинг қувватини ва уларнинг электр энергияси сифат кўрсаткичларига таъсирини баҳолаш усули носинусоидал кучланиш мисолида кўриб чиқилади. Бу усулда умумий уланиш нуқтасидаги синусоидал кучланиш сифатини бузадиган электр энергия истеъмолчилари бўлган қурилмаларни аниқлаш учун бир нечта босқич амалга оширилиши лозим. Иккинчи, истеъмолчиларнинг актив қувват йўналиши бўйича электр энергиясини сифатига таъсирини баҳолаш усули ишлаб чиқилган. Шунингдек ушбу усул электр энергияси сифатини бузадиган ва бузмайдиган истеъмолчиларни аниқлашда ҳам ишлатилади. Усулни асосий қоидаларини кучланишининг носинусоидаллик ҳолатлари учун кўриб чиқилган. Учинчи, истеъмолчилар таъсир улушлари ёрдамида баҳолаш усули. Истеъмолчиларни таъсир улушлари ёки ҳиссалари бўйича электр истеъмолчиларининг электр энергияси сифат кўрсаткичларига таъсирини баҳолаш усули сифат кўрсаткичларининг ёмонлашувининг сабабларини таҳлил қилишда асосий усул ҳисобланади.

Калит сўзлар: *электр энергияси сифат кўрсаткичлари, тўла қувват, қисқа туташув қуввати, актив қувват, умумий уланиш нуқтаси, электр энергияси сифати, эквивалент қаршилик, юклама.*

В статье анализируются три метода оценки влияния потребителей на качество электроэнергии. Сначала на примере несинусоидального напряжения рассмотрен метод оценки мощности потребителей и его влияние на показатели качества электроэнергии. В этом методе следует провести несколько этапов для выявления устройств - потребителей электроэнергии, нарушающих качество синусоидального напряжения в общей точке подключения. Во-вторых, разработана методика оценки влияния потребителей на качество электроэнергии по направлению активной мощности. Этот метод также используется для выявления потребителей, нарушающих и не нарушающих качество электроэнергии. Основные правила метода рассмотрены для случаев несинусоидального напряжения. Третий – метод оценки с использованием доли влияния потребителей. Метод оценки влияния потребителей электрической энергии на показатели качества электроэнергии по долям или вкладам потребителей является основным методом анализа.

Ключевые слова: *показатели качества электроэнергии, полная мощность, мощность короткого замыкания, активная мощность, общая точка подключения, качество электроэнергии, эквивалентное сопротивление, нагрузка.*

The article analyzes three methods for assessing the impact of consumers on the quality of electricity. First, using the example of non-sinusoidal voltage, a method for assessing the power of consumers and its impact on the quality indicators of electricity is considered. In this method, several stages should be carried out to identify devices consuming electricity that violate the quality of non-sinusoidal voltage at the common connection point. Secondly, a methodology has been developed for assessing the impact of consumers on the quality of electricity in the direction of active power. This method is also used to identify consumers that violate and do not violate the quality of electricity. The basic rules of the method are considered for cases of non-sinusoidal voltage. The third is an assessment method using the share of consumer influence. The method of assessing the influence of electricity consumers on the quality indicators of electricity based on the shares or contributions of consumers is the main method for analyzing the causes of deterioration in quality indicators.

Keywords: power quality indicators, apparent power, short circuit power, active power, common connection point, power quality, equivalent resistance, load.

1. Истеъмолчилар қувватини электр энергияси сифат кўрсаткичларига таъсирини баҳолаш усули. Истеъмолчиларнинг қувватини ва уларнинг электр энергияси сифат кўрсаткичларига таъсирини баҳолаш усули [7, 8, 9, 10] қодалари носинусоидал кучланиш мисолида кўриб чиқилади. Кучланиш носимметрияси ҳосил бўлган ҳолда, бунинг манбаларини аниқлаш лозим. Умумий уланиш нуқтасидаги носинусоидал кучланиш сифатини бузадиган электр энергия истеъмолчилари бўлган қурилмаларни аниқлаш учун қуйидагилар амалга оширилиши лозим:

1) a коэффицентнинг қийматини ҳисоблаш учун объектнинг рухсат этилган тўла қувватини $S_{рух}$ умумий уланиш нуқтасида (УУН) ҳосил бўладиган қисқа туташув қувватининг минимал қийматига $S_{қ.т.мин}$ нисбати аниқланади :

$$a = \frac{S_{рух}}{S_{қ.т.мин}} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Умумий уланиш нуқтасидаги $a_{рух}$ параметрнинг электр тармоқларидаги рухсат этилган қиймати қуйидагича:

- 6 кВ кучланишли тармоқлар учун $a_{рух}$ - 0,3 % дан катта эмас;
- 0,22/0,38 кВ кучланишли тармоқлар учун $a_{рух}$ - 0,2 % дан катта эмас.

Агар $a \leq a_{рух}$, бўлса, объектнинг юкламалари таркибий қисмларига асосланиб, тармоқдаги чизиқли бўлмаган ва ЭЭ сифатини бузадиган истеъмолчиларини умумий ўрнатилган тўла қувватини $S_{сбуз}$ аниқлаш лозим.

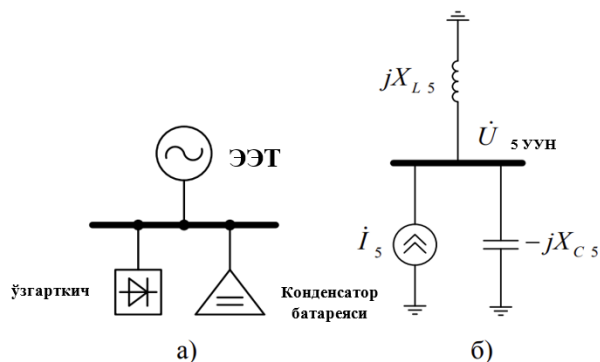
2) a_1 қийматини объектдаги параметрлар сифатини бузадиган электр истеъмолчилар қувватини $S_{сбуз}$ умумий уланиш нуқтасида ҳосил бўлиши мумкин бўлган қисқа туташув токини энг кичик қийматига $S_{қ.т.мин}$ нисбати билан фоизларда аниқланади:

$$a_1 = \frac{S_{сбуз}}{S_{қ.т.мин}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Агар $a_1 \leq a_{\text{рух}}$ бўлса, у ҳолда объект таркибида ночизикли истеъмолчи мавжуд, лекин кучланиш носинусоидаллигига таъсир кўрсатмайдиган объект сирасига киради.

Агар $a_1 \geq a_{\text{рух}}$ бўлса, у ҳолда объект таркибидаги ночизикли истеъмолчи кучланиши носинусоидаллигини келтириб чиқарадиган объект саналади.



1 - расм. Умумий уланиш нуқтасига уланган, ЭЭ сифатини бузувчи истеъмолчилар таъсирини ҳисоблаш (а) ва алмаштириш схемалари (б)

ЭЭ сифатини бузувчи потенциал истеъмолчини аниқлашнинг ушбу усули кичик кувватли ночизикли истеъмолчи томонидан ташқи резонанс режимида юқори гармоника кучланиши катта қийматда вужудга келишини инобатга олмайди.

Мисол тариқасида 6кВ кучланишли тармоқнинг умумий уланиш нуқтасида истеъмолчилар уланган ҳолатини кўриб чиқамиз. Бу ҳолатга мос келувчи ҳисоблаш ва алмаштириш схемалари 1-расмда келтирилган.

Электр энергетика системасининг ва конденсатор батареяларининг параметрлари шундай бўлиши лозимки, тадқиқ қилинаётган юқори гармоникага (мисол учун, 5-чи) мос келувчи реактив қаршиликларининг модуллари айнан тенг бўлиши лозим.

Умумий уланиш нуқтасидаги шинада ҳосил бўладиган қисқа туташув токи 18,2 кА ҳамда конденсатор батареяларининг куввати 7,2 МВАр бўлган ҳолатни кўриб чиқамиз.

Бундай ҳолда, қуйидаги ифодаларга асосан, асосий саноат частотасида электр энергетика системаси ва конденсатор батареялари қаршиликларини ҳисоблаймиз ҳамда қуйидаги қийматларга эга бўламиз:

$$X_{L1} = \frac{U_{\text{ўр.ном.}}}{\sqrt{3}I_{qt}^3} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 18,2} = 0,2 \text{ Ом}; \quad X_{C1} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{Q_{\text{ном}}} = \frac{6^2}{7,2} \approx 5 \text{ Ом}. \quad (3)$$

5-гармоникада асосий частотадаги қаршиликлар тахминан тенг бўлади:

$$X_{L5} = 5X_{L1} = 1 \text{ Ом}; \quad X_{C5} = \frac{1}{5}X_{C1} = 1 \text{ Ом}. \quad (4)$$

Фараз қилайлик, 1 а расмдаги импульсли тўғрилагич 100 кВА номинал тўла кувватга эга бўлсин. Ўзгартиригичнинг коммутациялаш бурчаги $\gamma_0 = 20^\circ$ градусга

тенг деб олайлик. У ҳолда ҳосил қилинган 5-гармониканинг токи қуйидагига тенг бўлади:

$$I_5 \approx \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{\sin \left[n - 1 \frac{\gamma_0}{2} \right]}{n \cdot n - 1 \frac{\gamma_0}{2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6} \cdot \frac{\sin \left[5 - 1 \cdot \frac{\pi}{18} \right]}{5 \cdot 5 - 1 \cdot \frac{\pi}{18}} = 1,774 \text{ A}. \quad (5)$$

Умумий уланиш нуқтасидаги 5-гармониканинг кучланиши бу ҳолда фақат тармоқ элементларининг актив қаршилиги билан чегараланади ва рухсат этилган қийматдан ошади [10,11].

Ушбу мезон бўйича текшириб кўрамиз (1):

$$a = \frac{S_{\text{рух}}}{\sqrt{3}U_{\text{ўр.ном}} \cdot I_{\text{qt}}^3} \cdot 100\% = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6.3 \cdot 18200} \cdot 100\% \approx 0,05\%. \quad (6)$$

Олинган натижа сифатни бузадиган истеъмолчиларни аниқлашда кўриб чиқилган ёндашувнинг номукамаллигини ва бу борада кўшимча тадқиқотлар олиб бориш мақсадга мувофиқ эканлиги кўрсатади.

2. Актив қувватни ишораси бўйича баҳолаш методи. Истеъмолчиларнинг актив қувват йўналиши бўйича электр энергиясини сифатига таъсирини баҳолаш усули ишлаб чиқилган бўлиб [9, 10, 11], бу усул электр энергия сифатини бузадиган ва бузмайдиган истеъмолчиларни аниқлашда ҳам ишлатилади. Усулни асосий қоидаларини кучланишнинг носинусоидаллик ҳолатлари учун кўриб чиқамиз.

Истеъмолчилар учун, умумий уланиш нуқтасидаги кучланишнинг юқори гармоникасига таъсир қилиш, текширилаётган умумий уланиш нуқтасидаги юқори гармоникали кучланишлари орасидаги фаза силжиш бурчагини ва ҳар бир уланган истеъмолчининг бир хил номдаги токи юқори гармоникасини аниқлаш таклиф этилган [9]. Бу электр истеъмолчилари ёки электр таъминоти корхонаси, фаза силжиш бурчаги $\varphi_{UI_{\text{нк}}}$ n - гармоник ташкил этувчи кучланишлар орасидаги умумий уланиш нуқтасидаги $U_{n \text{ ун}}$ ва n - гармоник ташкил этувчи ёки k - линия ёки электр таъминоти корхонаси $I_{\text{нк}} +90$ катта ёки -90 кичкина, истеъмолчи n - гармоник ташкил этувчини токини $I_{\text{нк}}$ ўз ичига олган деб ҳисобланади.

Худди шу тарзда, истеъмолчи уланишида актив қувват сифатини бузилиши белгиси ёрдамида тавсифланиши мумкин. Электр таъминоти тизимига уланган истеъмолчилари ичида манфий актив қувват бўлиши сифатни бузувчи манбаларнинг мавжудлигини кўрсатади, мусбат актив қувват бўлиши эса уларнинг йўқлигини кўрсатади.

Текширилаётган истеъмолчини улашда актив қувват сифатини бузилишини белгиси иккита ташкил этувчидан иборат бўлиб, улар кучланиш сифатини бузилиши $U_{\text{сбюз}}$ ва ток сифатини бузилиши $I_{\text{сбюз}}$:

$$\text{sgn}P_{\text{сбюз}} = \text{sgn} \left[\cos \left(\arg \frac{U_{\text{сбюз}}}{I_{\text{сбюз}}} \right) \right]. \quad (7)$$

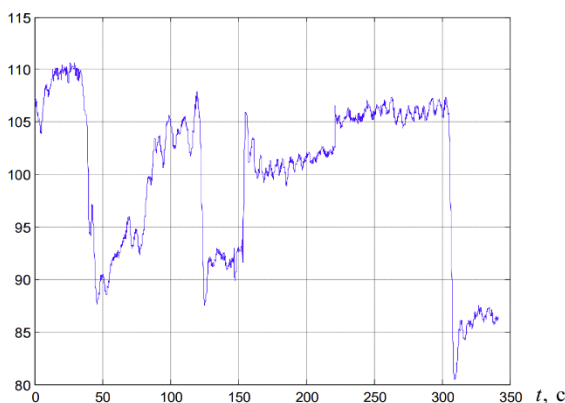
Шу билан бирга, ЭЭ сифатини бузувчи истеъмолчи, электр таъминоти тизимининг бошқа истеъмолчиларидан қатъий назар, фақат ўзининг фазасидаги токнинг сифатини бузилишига таъсир қилади. Бу асосий частота токининг фазасига

боғлиқ. Бироқ умумий уланиш нуқтасидаги кучланиш сифатининг бузилиши, электр таъминоти тизимидаги N та истеъмолчилари учун қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$U_{сбуз} = \sum_{i=1}^N I_{сбуз_i} / \sum_{i=1}^N Y_{сбуз_i}. \quad (8)$$

Бу ерда $I_{сбуз_i}$, $Y_{сбуз_i}$ – мос равишда электр таъминоти тизими истеъмолчиларини токи ва ўтказувчанлиги сифатини бузилиши, N – умумий уланиш нуқтасидаги электр таъминоти тизими истеъмолчилари сони.

Сифати бузилган кучланишнинг фазаси $U_{буз}$ нафақат ток фазасига $I_{Тбуз}$ боғлиқ бўлгани, балки истеъмолчиларнинг ҳар бирининг уланишида актив қувват сифати бузилишини белгиси кенг чегарада ўзгариши мумкин.

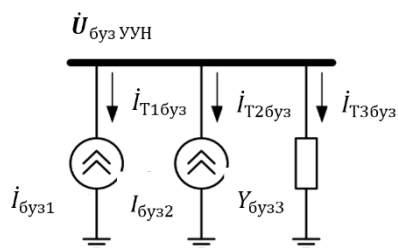


2 –расм. 220 кВ ҳаво линиясининг В фазасидаги 11- гармоникасидаги ток ва кучланишлар векторлари орасидаги бурчакнинг вақт бўйича ўзгариши графиги

2-расмда металл заводининг таъминловчи ҳаво линиясида ўлчанган 11- гармоникага мос келувчи В фазасининг кучланиши ва токи орасидаги бурчакнинг вақт бирлиги ичида ўзгариши графиги кўрсатилган. Юклама чизиқли эмас, лекин унинг уланишидаги актив қувват белгиси ўзгарувчан бўлиб, бу сифатни бузадиган юкклани аниқлаш талабларига зид келади.

3 - расмда электр таъминоти тизими истеъмолчиларини умумий уланиш нуқтасидаги алмаштириш схемаси тасвирланган. Бундай нисбати билан алмаштириш схемаси параметрлари аргументларининг I_2 токга эга бўлган сифатни бузувчи истеъмолчини аниқлаш усулларга кўра сифат бузилмаган деб ҳисобланади. Шу каби кучланиш $U_{уун.сбуз}$ ва ток $I_{Т2сбуз} = -I_{сбуз.2}$ орасидаги бурчак -90^0 ; $+90^0$ оралиқда жойлашади.

Бундан кейин усулларни таҳлил қилишда дастлабки ҳисобий схема кўрсатилмайди, чунки бундай қувват истеъмолчилари ва юккланиларнинг хусусияти ҳар доим алмаштириш схемаси параметрларининг қисқарган комбинациясини таъминлаш учун танланиши мумкин.



3 - расм. Электр таъминоти тизими истеъмолчиларини умумий уланиш нуктасидаги параметрларини алмаштириш схемаси

$$i_{буз1} = 20A; i_{буз2} = -10A; Y_{буз} = 5Cm;$$

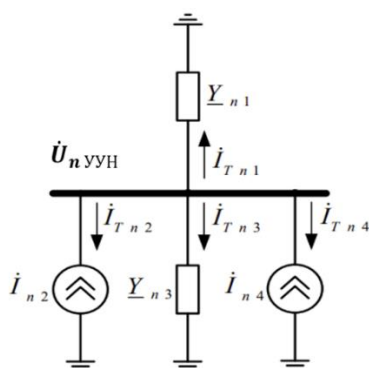
$$U_{буз УУН} = \frac{i_{буз1} + i_{буз2}}{Y_{буз3}} = 2 В.$$

Сифатни бузмайдиган юклама билан агар умумий уланиш нуктасига уланган юклама қувватининг мусбат йўналиши танланган бўлса, унинг уланишидаги актив қувват сифат бузилиши мусбат бўлади. Бирок, актив қувват бузилиши манфий белгиси юкломани сифатини бузмайдиган хусусиятини кўрсатади деб айтиш нотўғри бўлади.

3. Истеъмолчилар таъсир улушлари ёрдамида баҳолаш.

Истеъмолчиларнинг таъсир улушлари ёки хиссалари бўйича электр истеъмолчиларининг электр энергияси сифат кўрсаткичларига таъсирини баҳолаш усули сифат кўрсаткичларининг ёмонлашувининг сабабларини таҳлил қилишда асосий усул ҳисобланади [3]. Ёндашувнинг моҳияти умумий уланиш нуктасидаги кучланишнинг сифатини бузилишига, ток сифатини ёки қувват сифатини бузилишига таъсир ҳиссаси ёки ҳақиқий ҳиссасини ҳисоблашдан иборат.

Якка тартибдаги истеъмолчининг кучланиш бузилишига таъсир ўлчови сифатида ҳақиқий ҳиссасини ҳисоблаш учун қуйидаги методология келтирилган, унинг моҳияти улушли ва ҳақиқий ҳисса концепциясидан фойдаланадиган кўпчилик ёндашувлар учун бир хил n – чи тартибга эга юқори гармоникалардан бири учун 4-расмдаги алмаштириш схемаси учун биринчи босқичда умумий уланиш нуктасида аниқланган ЭЭ сифатини бузиш манбалари томонидан яратилган сифатни бузувчи тоқларининг I_{ni} вектор йиғиндиси бўйича I_n эквивалент манбани умумий токни аниқлаш керак бўлади.



4 – расм. Умумий уланиш нуктасига эга бўлган истеъмолчиларнинг алмаштириш схемаси

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Бу кийматни куйидаги формуладан фойдаланиб ҳисоблаш мумкин:

$$|I_{\Sigma n}| = \left| \sum_{i=1}^N I_{n_i} \right|. \quad (9)$$

Бу ерда I_{n_i} – ўлчашлар вақтида аниқланган истеъмолчиларни сифатни бузувчи токи қиймати, 4 -расмдаги схема учун $N = 4$ га тенг бўлиб, электр таъминоти манбаига умумий уланиш нуқтасига уланган истеъмолчиларнинг сони.

Худди шу ўртача ораликдаги қолган объектлар $Z_{\text{кириш } n}$, қаршиликка эга эквивалент пассив элемент билан ифодаланади, унинг модули куйидаги ифода билан аниқланади:

$$|Z_{\text{кириш } n}| = \frac{U_{n \text{ уун}}}{I_{\Sigma n}}. \quad (10)$$

Бу ерда $U_{n \text{ уун}}$ – умумий уланиш нуқтасидаги кучланишнинг n -чи гармоникасининг модули.

Кўриб чиқилаётган ўртача интервалда I_{nk} ЭЭ сифатини бузувчи токнинг k -чи манбаи томонидан яратилган ҳақиқий ҳисса (фактичесий вклад) U_{nk}^{xx} , кучланишининг n -чи гармоник ташкил этувчи векторининг модули куйидаги формула билан аниқланади:

$$U_{nk}^{\text{xx}} = I_{nk} Z_{\text{кириш } n}. \quad (11)$$

Умумий уланиш нуқтасидаги синусоидал кучланиш сифатини бузилишида ҳақиқий ҳисса ($K_{U_{nk}}^{\text{xx}}$) ўртача қиймати куйидаги формула билан аниқланади:

$$K_{U_{nk}}^{\text{xx}} = \frac{U_{nk}^{\text{xx}}}{U_{1 \text{ уун}}} \cdot 100. \quad (12)$$

Бу ерда $U_{1 \text{ уун}}$ – умумий уланиш нуқтасидаги асосий частота кучланишининг модули.

Олинган $K_{U_{nk}}^{\text{xx}}$ ҳақиқий ҳиссани k -чи объектнинг сифатни бузувчи электр истеъмолчиси учун белгиланган рухсат этилган ҳиссанинг тегишли максимал ва доимий рухсат этилган қийматлари билан солиштириш керак. Олинган натижалар k -объектнинг сифатни бузувчи электр истеъмолчилари учун белгиланган рухсат этилган ҳиссанинг, максимал рухсат этилган ва доимий рухсат этилган қийматлари билан таққосланиши керак.

Агар ҳақиқий ҳисса рухсат этилган қийматдан ошиб кетган бўлса, у ҳолда электр энергиясини сифат кўрсаткичидаги мавжуд номувофиклик тўлиқ ёки қисман k -чи объектда сифатни бузувчи электр истеъмолчиларни мавжудлиги билан боғлиқ. Ушбу усул улуш ҳиссаси концепциясини кучланишга ишлатадиган ишларда тақдим этилган ёндашувни такрорлайди. $U_{\text{буз.к}}^{\text{xx}}$ умумий ҳолатда мураккаб бўлиб, куйидаги ифода билан аниқланади:

$$U_{\text{буз.к}}^{\text{xx}} = \frac{I_{\text{буз.к}}}{\sum_{i=1}^N Y_{\text{буз.к}}} \cdot 100. \quad (13)$$

Бу ерда $I_{буз.k}$ – электр таъминоти тизими к-чи истеъмолчисининг сифатни бузувчи токи, $Y_{буз.k}$ – электр таъминоти тизимини i - истеъмолчисининг ўтказувчанлиги, умумий уланиш нуқтасига уланган N – электр таъминоти тизими истеъмолчиларини сони.

(8) ифодадан шу келиб чиқадики, улуш ҳиссасининг вектор йиғиндиси умумий уланиш нуқтасидаги кучланиш сифатини бузилиши $U_{буз.уун}$ векторига тенг:

$$\sum_{i=1}^N U_{буз.i}^{p.x_0} = U_{буз.уун} \cdot \quad (14)$$

Худди шундай, к-истеъмолчининг улуш ҳиссаси $I_{буз.k}^{p.x}$ сифатни бузувчи токига бошқа истеъмолчилар учун сифатни бузувчи манбалар мавжуд бўлмаганда тармоққа, истеъмолчи томонидан ишлаб чиқарилган сифатни бузувчи ток қиймати сифатида киритиш таклиф этилади:

$$I_{буз.k}^{p.x} = -I_{буз.k} \frac{\sum_{i=1, i \neq k}^N Y_{буз.i}}{\sum_{i=1}^N Y_{буз.i}} \cdot \quad (15)$$

Хулоса. Юқорида кўриб чиқилган электр энергиянинг сифат кўрсаткичларига истеъмолчилар томонидан кўрсатиладиган таъсир миқдорини баҳолашнинг учта усулидан биринчиси, истеъмолчиларнинг қувватини ва уларнинг электр энергияси сифат кўрсаткичларига таъсирини баҳолаш усули носинусоидал кучланиш мисолида кўриб чиқилди. Бу усулда умумий уланиш нуқтасидаги синусоидал кучланиш сифатини бузадиган электр энергия истеъмолчилари бўлган қурилмаларни аниқлаш учун бир нечта босқич амалга оширилиши кўзда тутилган. Иккинчи усул, истеъмолчиларнинг актив қувват йўналиши бўйича электр энергиясини сифатига таъсирини баҳолашга мўлжалланган бўлиб, ушбу усул электр энергияси сифатини бузадиган ва бузмайдиган истеъмолчиларни аниқлашда ҳам ишлатилади. Усулнинг асосий қоидалари кучланишнинг носинусоидаллик ҳолатлари учун кўриб чиқилган.

Учинчи усул, яъни истеъмолчилар таъсир улушлари ёрдамида баҳолаш усули бўлиб, истеъмолчиларнинг таъсир улушлари ёки ҳиссалари бўйича электр истеъмолчиларининг электр энергияси сифат кўрсаткичларига таъсирини баҳолашнинг бу усули сифат кўрсаткичлари ёмонлашувининг сабабларини таҳлил қилишда асосий усул ҳисобланади.

Адабиёт

1. М.Қ.Бобожанов, С.К.Маҳмутханов. Influence of the consumer to power quality at the point of connection // E3S Web of Conf. -E3S Web of Conferences 384, 01041 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401041>.
2. Бобожанов М.К., Маҳмутханов С.К., Айтбаев С.С. Investigation of the Problems Non-Sinusoidal of the Voltage Form // Investigation of the Problems Non-Sinusoidal of the Voltage Form // AIP Conference Proceedings 2552. 2023. PP, 05011, 1-6. <https://doi.org/10.1063/5.0113890>.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

3. Бобожанов М.К., Махмутханов С.К. ДСП-30 электр ёй печини экспериментал тадқиқ қилиш. / III международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы системы электроснабжения». 2023.-С 153-155.
4. Бобожанов М.К., Махмутханов С.К. Электр энергияси сифат кўрсаткичлари ва унга таъсир этувчи омиллар. / «Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги — озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги II-Халқаро илмий ва илмий-техник анжумани, 2022 йил 22-23 апрел, 345-347 бет.
5. Афанасенко А.С. Оценка влияния потребителей и энергоснабжающей организации на искажение напряжения в точке общего присоединения /А.С. Афанасенко, Д.С. Федосов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011.– № 11(58). – С.190-193.
6. Майер В.Я. Методика определения долевых вкладов потребителя и энергоснабжающей организации в ухудшение качества электроэнергии / В.Я. Майер, // Электричество. 1994.– №9.
7. Миль И.А. Использование отраслевой системы стандартизации для повышения качества электроэнергии в РФ / И. А. Миль // Электричество. – 2013. – №6.
8. Федосов, Д.С. Оценка влияния участников системы электроснабжения на искажение напряжения в точке общего присоединения / Д. С. Федосов Итоги диссертационных исследований. Том 3. – Материалы III Всероссийского конкурса молодых учёных. – М.: РАН, 2011. – С. 161-171.
9. Сидоренко А. И. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. /Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Под общ. ред. В. В. Федчишина. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – С. 283-288.
10. Cristaldi, L. Harmonic power flow analysis for the measurement of the electric power quality / L. Cristaldi, A. Ferrero // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 44, June 1995.
11. Curve Fitting Toolbox User’s Guide [Электронный ресурс]. – The MathWorks, Inc., 2001-2004. – URL: http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/curvefit.pdf.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 679.7

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА
КАБЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ****В.В. Цыпкина, В.П. Иванова, М.Н. Козлитин, А.А. Иванов, А.Р. Аширов**

Мақолада ишлаб чиқариш шароитлари ва технологияси учун махсус талабларга эга бўлган кабел ускуналарининг ишончлилиги ва хавфсизлиги масалалари муҳокама қилинади. Таърифланган объект эғимли вулканизация чизиги бўлиб, иш ҳарорати +400 °С гача бўлган ишлайдиган муҳит - азот гази билан юқори босимли идиши принципи асосида ишлайди. Эғимли чизиқли вулканизация тизимининг ёрдамчи ускуналари - азотли газ билан таъминлашнинг ишончлилиги ва хавфсизлиги таҳлили ўтказилди. Хавфли ишлаб чиқаришларнинг ишончлилиги ва хавфсизлигини таҳлил қилишни интеллектуаллаштириш тизими ишлаб чиқилди, бу ўзаро боғланган полиэтиленни қўллаш учун эғимли вулканизация линиясининг ёрдамчи технологик ускуналарини бошқариш тизимларининг ишончлилиги ва хавфсизлигини мониторинг қилиш ахборот тизимини интеллектуализация қилиш имконини берди. юқори кучланишли электр кабелининг ўтказгичига изоляциялаш.

Калит сўзлар: *эғимли вулканизация линияси, юқори кучланишли электр кабели, ўзаро боғланган полиэтилен изоляцияси, интеллектуализация, кабел ва сим маҳсулотлари, юқори босимли идиши, ақли нейрон тармоқ муҳандислик бошқаруви тизими, нейрон тармоқ, жараёни рақамлаштириш.*

В статье рассматриваются вопросы надежности и безопасности кабельного оборудования, имеющего особые требования к условиям и технологии производства. В качестве объекта описывается линия наклонной вулканизации, работающая по принципу сосуда высокого давления с рабочей средой - газообразный азот с рабочей температурой до +400°С. Проведен анализ надежности и безопасности работы вспомогательного оборудования системы вулканизации наклонной линии – газоснабжение азотом. Разработана система интеллектуализации анализа надежности и безопасности опасных производств, которая позволила интеллектуализировать информационную систему мониторинга надежности и безопасности систем управления для вспомогательного технологического оборудования линии наклонной вулканизации для наложения изоляции из сшитого полиэтилена на токопроводящую жилу силового высоковольтного кабеля.

Ключевые слова: *линия наклонной вулканизации, силовой высоковольтный кабель, изоляция из сшитого полиэтилена, интеллектуализация, кабельно-проводниковая продукция, сосуд высокого давления, интеллектуальная нейросетевая инженеринговая контролирующая система, нейросеть, цифровизация процесса.*

The article discusses issues of reliability and safety of cable equipment that has special requirements for production conditions and technology. The object described is an inclined vulcanization line, operating on the principle of a high-pressure vessel with a working medium - nitrogen gas with an operating temperature of up to +400°C. An analysis of the reliability and safety of the auxiliary equipment of the inclined line vulcanization system - nitrogen gas supply was carried out. A system for intellectualizing the analysis of reliability and safety of hazardous industries has been developed, which made it possible to intellectualize the information system for monitoring the reliability and safety of control systems for auxiliary technological equipment of an inclined vulcanization line for applying cross-linked polyethylene insulation to the conductor of a high-voltage power cable.

Key words: *inclined vulcanization line, high-voltage power cable, cross-linked polyethylene insulation, intellectualization, cable and wire products, high-pressure vessel, intelligent neural network engineering control system, neural network, process digitalization.*

Производство кабельно-проводниковой продукции КПП - это быстроразвивающаяся отрасль промышленности, основной целью которой является закрытие потребности в готовых кабельных изделиях. При этом темп роста мощностей и количество технологических объектов вызывает увеличение производственных мощностей, что отрицательно сказывается на функционале действующих силовых кабельных линий [1-3, 15]. Все эти факторы в обязательном порядке необходимо учитывать при производстве готовых кабельных изделий, которые должны обеспечить надежность и безопасность силовых высоковольтных кабелей.

Современные силовые высоковольтные кабели имеют улучшенные эксплуатационные параметры и существенно отличаются по конструктивному исполнению, т.к. в качестве изоляции используется сшитый полиэтилен (СП), который является современным изоляционным материалом, обеспечивающий высокий уровень надежности и долговечности работы высоковольтных кабельных линий.

Производственный процесс изготовления силовых высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, это сложная, взаимосвязанная технология, состоящая из множества технологических операций. При этом самая сложная и ответственная часть его производства – наложение изоляции из сшитого полиэтилена на токопроводящую жилу (ТПЖ), которая осуществляется на Наклонной линии непрерывной вулканизации (НЛНВ).

НЛНВ сочетает в себе много технологических узлов и машин, совместная функция каждой нацелена на качественное наложение изоляции из СП на ТПЖ методом экструзии. Учитывая особенности технологии, эта линия имеет преимущественно - наклонную вулканизационную камеру, которая исключает возможность соприкосновения вулканизируемого покрытия кабельного изделия (изоляционного слоя) с внутренней поверхностью камеры. Вулканизационная

камера выполнена, как цепная линия, где заготовка кабеля располагается равноудалённо от всех внутренних поверхностей трубы за счет собственной массы ТПЖ и изоляции, поддерживаемое определенной величиной его допустимого натяжения.

Уровень сшивки полиэтиленовой изоляции определяются качественными показателями работы вулканизационной камеры, в которой под высокотемпературным воздействием происходит формирование изоляционного слоя и последующее его охлаждение (рис.1).

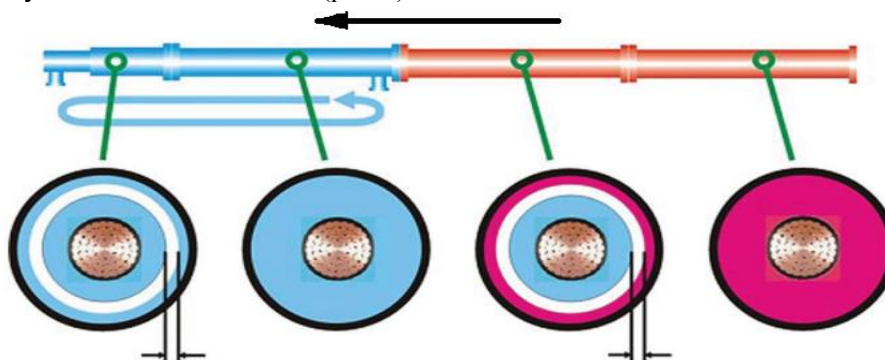


Рис.1. Схематический принцип действия вулканизационной камеры:
синий цвет - сформированная изоляция; белый цвет - расплавленная изоляция;
красный цвет - сшитая изоляция

Экструдруемая масса сшиваемого полиэтилена (электропроводящего и изоляционного) выдавливается несколькими экструдерами на ТПЖ кабельной заготовки, которая далее поступает в вулканизационную камеру, где осуществляется процесс сшивки (формирования) слоя изоляции под воздействием разогретого (+400°C) и охлажденного (+20°C) азота. При этом, работа камеры вулканизации и ее вспомогательное оборудование представляет собой сосуд высокого давления (8÷10 Атм.) с рабочей средой – сжиженный азот. Таким образом, рассматриваемый технологический объект, камера наклонной вулканизации (КНВ) — это сложная техническая установка, которая по эксплуатационным характеристикам относится к опасным производственным объектам с рядом эксплуатационных ограничений.

В общем случае КНВ и ее вспомогательное оборудование можно рассматривать, как транспортную сеть, обеспечивающую высокий уровень надежности и безопасности для особо опасных производственных объектов. В этой связи была разработана технология открытого дистанционного интеллектуального мониторинга безопасности, предупреждения техногенных событий и чрезвычайных ситуаций, отвечающей последним требованиям Закона Республики Узбекистан от 28.09.2006 г. № ЗРУ-57 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [4].

На основании Постановления Президента Узбекистана «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» от

17.02.2021 г. № ПП-4996 и утвержденной «Программы мер по изучению и внедрению данных технологий» [5] была проведена работа по разработке методики интеллектуализированной информационной системы мониторинга технологии, которая имеет гибкую структуру мониторинга рабочих параметров технологического объекта НЛНВ, ориентированного на широкий диапазон сечений ТПЖ от 50 до 2500 мм² работающего при различных режимах. Она построена на математической и алгоритмической базе, которая способна обеспечить требования по надежности и безопасности систем управления кабельным оборудованием.

Разрабатываемая система мониторинга осуществляет постоянный контроль и оценку, а также прогнозирование рабочих параметров технологического оборудования и технологии. За основные критерии контроля в системе определены критерии по безопасности и надежности всех устройств, входящих в состав НЛНВ, а также критерии угроз безопасности диагностируемых рабочих технологических параметров. Контроль осуществляется за счет постоянно текущего мониторинга всех возникающих событий на разных уровнях и режимах работы оборудования, и необходим для выявления и распознавания опасности по параметрам фактического состояния электромеханических, технических систем, контрольно-измерительных приборов (КИП), испытательного оборудования (ИО). Система мониторинга способна поддерживать высокий уровень надежности выполняемой технологической операции и сохранять требуемые параметры технологии при производстве КПП. Таким образом, разработка системы мониторинга является онлайнпредупреждающей системой, по контролю и предупреждению аварийных ситуаций в режиме реального времени, позволяющая безопасно эксплуатировать транспортные магистрали и резервуары хранения азота совместно с выполняющим технологию кабельным оборудованием [6, 7].

Информационные технологии последнего поколения позволяют реализовать не только стратегию цифровизации процессов, но и решить две ключевые задачи – управление техническим состоянием и надежностью объектов и управление безопасностью, предупреждая аварийные ситуации.

Разработка технологии на основе интеллектуальной нейросетевой инжиниринговой контролирующей системы (ИНИКС) позволила осуществлять прогноз и предупреждать различные аварии, обеспечив при этом высокую эффективность и быстродействие принятия решений управления кабельным агрегатом, исключив человеческий фактор в принятии решений различного уровня сложности. В основе разработки предлагаемой системы лежат теории нейросетевого программирования, надежности, системного анализа, статистики и вероятностей и т.д. [6, 7, 14].

Структура ИНИКС включает в себя модуль программного обеспечения, который ведет регистрацию всех событий технического и технологического характера (рис.2), являясь автоматизированной системой, состоящей из взаимосвязанных модулей: разработка решений; оценка, анализ и прогнозирование, а также систем: поддержки принятия решений; управление безопасностью и надежностью технологического процесса в НЛНВ.



Рис. 2. Функциональная структура многоуровневого модульного мониторинга вулканизационной камеры НЛНВ

Отличительной особенностью разработки, является то, что ИНИКС (рис.3) рассчитана на технологическое оборудование, имеющее разные сроки эксплуатации. В случае, если оборудование работает более 15 лет, то имеет место стандартная система периодической диагностики, но если это современное оборудование, то предусмотрено включение интеллектуализированной системы, позволяющей осуществить анализ технических и производственных параметров с ориентацией на конечный результат – высокое качество шивки полиэтиленовой изоляции. Мониторинг и диагностика технического состояния технологического оборудования, рассматривается ИНИКС, как взаимосвязанный комплекс рабочих систем: экструдеры, узлы, резервуары, системы трубопроводов, совместная работа которых

рассчитана на конечный результат в режиме реального времени. Проведение анализа и контроля основных параметров процессов технологии и кабельного оборудования имеет цель минимизации ошибки диагностики параметров технологии и снижение рисков работы систем посредством: баз данных; обработки данных; контроля и прогноза параметров; математического анализа данных и др. Применение искусственного интеллекта, как комплексное технологическое решение в разработке базовой модели ИНИКС (рис.3), позволило создать имитационную модель, имеющую функции самообучения и поиска решений для конкретных технических задач с минимальным участием операторов, интеллектуальной деятельности человека.

Базовая модель ИНИКС (рис.3) создана посредством сложного математического аппарата, позволяющего анализировать входные и выходные сигналы всех систем кабельной машины с учетом данных камеры вулканизации, как особо сложного и опасного производственного, технического объекта НЛНВ. Отработка действия базовой модели, построена на правильном выборе архитектуры сети, определяемой числом входных и выходных нейронов, ее сложностью с последующим уточнением ошибок вычислений, которые определяются точностью процесса моделирования.



Рис.3. Общая структура базовой модели ИНИКС

Полученные результаты исследования особенностей технологии в работе НЛНВ позволили определить следующие этапы функционирования ИНИКС: 1) формирование исходных баз данных; 2) определение критериев безопасности; 3) безопасных параметров состояний систем; 4) интеллектуальная идентификация состояний на основании системы входных критериев безопасности; 5) прогнозирование показателей безопасности; 6) оценка нейросетевого показателя безопасности; 7) обучение и принятие решений; 8) интеллектуальный анализ модифицированных баз данных (выявление признаков входных критериев и сортировка по важности).

Выводы. Описанная интеллектуальная информационная система мониторинга надежности и безопасности систем управления кабельным оборудованием, построена на данных технологии наложения изоляции на ТПЖ из СП для силовых высоковольтных кабелей и на основании результатов системного анализа и интеллектуальных технологий, что обеспечило оперативный мониторинг событий и внешних возмущений, возникающих в рамках работы кабельного оборудования при выполнении отдельно взятой технологии. Таким образом, обеспечивается предупреждение чрезвычайных ситуаций на кабельном производстве за счет достижения требуемого уровня надежности и безопасности работы сложного технологического оборудования, имеющего в своем составе сосуд высокого давления с рабочей средой - газообразный азот, имеющий температуру до +400°С.

Литература

1. Tsunami follow-up: tragedy is far too familiar //Wire Journal International. 2005. №3.
2. Современное состояние мировой кабельной промышленности. www.ruscable.ru.
3. Radbourne P. Wooyant profits around the globe // Wire and Cable Technology International. 2007. - № 2.
4. <https://lex.uz/ru/docs/1061184?ONDATE2=21.04.2021&action=compare>.
5. <https://lex.uz/docs/5297051>.
6. Махутов Н.А., Черепанов А.П., Лисанов М.В. Задачи разработки и реализации системы управления промышленной безопасностью предприятия при эксплуатации технических устройств // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 2. – С. 15–19. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-2-15-19.
7. Земенкова М.Ю. Методы снижения технологических и экологических рисков при транспорте и хранении углеводородов. –Тюмень: ТИУ. – 2019. – 397 с.
8. Improving the reliability of cable lines operation in hot climates. Daniyar Bakhtiyarovich Madrakhimov, Vera Pavlovna Ivanova, Victoria Vyacheslavovna Tsyapkina. E3S Web of Conf. 216 01151 (2020) DOI: 10.1051/e3sconf/202021601151.
9. Повышение надежности работы кабельно-проводниковой продукции путем усовершенствования технологии наложения изоляции // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. Иванова В.П. [и др.]. 2020. 11(80). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10970> (дата обращения: 15.11.2023).
10. Development of generalized requirements for automated electric drive of cable equipment V.V. Tsyapkina, V.P. Ivanova, D.N. Isamukhamedov, A.U. Turabekov, R.F. Atamukhamedova E3S Web of Conf. 401 02045 (2023) DOI: 10.1051/e3sconf/202340102045.
11. Improvement of the multifilament wire lager for cable production Olimjon Toirov, Vera Ivanova, Viktoriya Tsyapkina, Dilnoza Jumaeva, Dilnoza Abdullaeva E3S Web Conf. 411 01041 (2023) DOI: 10.1051/e3sconf/202341101041.

12. Improving the reliability of power supply to active consumers by improving the technology for manufacturing cable product Vera Pavlovna Ivanova, Victoria Vyacheslavovna Tsyapkina E3S Web of Conf. 216 01152 (2020) DOI: 10.1051/e3sconf/202021601152.

13. Cable conductor of cabling and wiring products based on composite materials for transport systems V. V. Tsyapkina, V. P. Ivanova, K. K. Jurayeva E3S Web of Conf. 401 03036 (2023) DOI: 10.1051/e3sconf/202340103036.

14. Sh.B. Umarov, D.D. Rakhmatov. Calculation of transition processes in stabilized power sources on the basis of a single-phase serial current inverter. MIP: Engineering-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062032 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/862/6/062032.

15. Shukhrat Umarov. Modeling Method for Autonomous Current Inverters. 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)/978-1-6654-7095-7/22/\$31.00 ©2022 IEEE/doi: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988596.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК.621.313

**ИССИҚЛИК ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРИДА ИШЛАТИЛАЁТГАН
ТУРБОГЕНЕРАТОРНИНГ СТАТОР ЧУЛҒАМИНИ СУВЛИ СОВИТИШ
ТИЗИМИДА БЎЛАЁТГАН НОСОЗЛИКЛАР ВА УЛАРНИ БАРТАРАФ
ЭТИШ УСУЛЛАРИ**

Н.Б. Пирматов, С.Э. Шерназаров

Ушбу мақолада оммавий ТВВ сериали катта қувватли турбогенераторларнинг статор чулғамларини совитишида бўлаётган носозликлар уларни баратараф этиши усуллари атрофлича ўрганилиб чиқилган. Бугунги кунда жаҳон ва минтақамиз электр энергетика саноатининг ривожланиши, шу жумладан ривожланаётган мамлакатларда ТВВ сериали катта қувватли турбогенераторларнинг қувват бирлигининг узлуксиз ўсиши уларнинг ишончилигига қўйиладиган талабларнинг ошиши билан бирга келади. Бунинг учун янги прогрессив конструктив ва технологик ечимлардан фойдаланиши ва ишлаб чиқарилаётган машиналар сифатини ошириши учун уларнинг совитиши тизимида бўлаётган носозликларга жиддий қараши ва бу носозликларни қисқа вақтларда баратараф этиши, совитиши усулларини яхшилаши орқали турбогенераторни ишда ишончилигини ва қувват бирлигини янада ошириши имконини беради. Замонавий ТВВ сериали турбогенераторларни асосий сифат тоифаларидан бири бу операцион совитиши усули бўлиб, бу усулни янада яхшилаши бугунги кунда жаҳон электр машинасозлик саноатининг асосий долзарб муаммоларидан бири ҳисобланади.

Калит сўзлар: турбогенератор, қувват, статор чулғами, мис ўтказгич, дистиллят сув, насос, газ совитгичлари, ферромагнит заррача, каллектор, конденсат.

В данной статье изучены неисправности охлаждения обмоток статора турбогенераторов большой мощности серии ТВВ и методы их устранения. Сегодня развитие электроэнергетики мира и нашего региона, в том числе непрерывный рост энергоблока турбогенераторов большой мощности серии ТВВ в развивающихся странах, сопровождается повышением требований к их надежности. Для этого необходимо использовать новые прогрессивные конструктивные и технологические решения, а в целях повышения качества машин - серьезно отнестись к неисправностям в их системе охлаждения: устранять эти неисправности в короткие сроки; совершенствование методов охлаждения, позволит еще больше повысить надежность турбогенератора в работе, а также и силовой установки. Одной из основных категорий качества современных турбогенераторов серии ТВВ является способ водяного охлаждения, и дальнейшее совершенствование этого способа является одной из основных актуальных задач мирового электромашиностроения.

Ключевые слова: турбогенератор, мощность, обмотка статора, медный проводник, дистиллированная вода, насос, газоохладители, ферромагнитные частицы, коллектор, конденсат.

This article studies in detail the cooling malfunctions of the stator windings of high-power turbogenerators of the popular TVV series and methods for eliminating them. Today, the development of the electric power industry in the world and our region, including the continuous growth of the power unit of high-power turbogenerators of the TVV series in developing countries, is accompanied by increasing requirements for their reliability. To do this, it is necessary to use new progressive design and technological solutions, and in order to improve the quality of manufactured machines, take seriously malfunctions in their cooling system and eliminate these malfunctions in a short time, by improving cooling methods, which will further increase the reliability of the turbogenerator in operation and the power plant. One of the main quality categories of modern turbogenerators of the TVV series is the method of operational cooling, and further improvement of this method is one of the main urgent tasks of the global electrical engineering industry today.

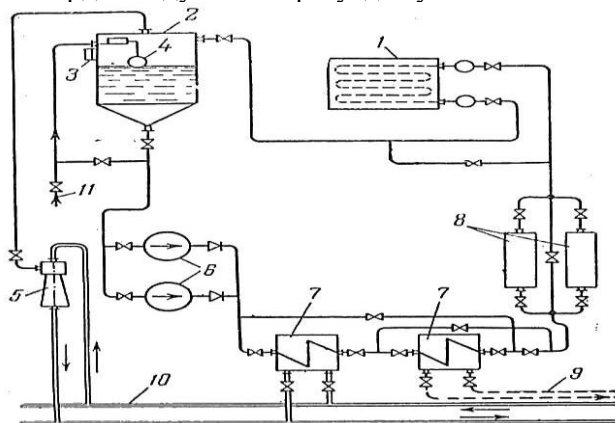
Key words: turbogenerator, power, stator winding, copper conductor, distilled water, pump, gas coolers, ferromagnetic particles, collector, condensate

Кириш. Хозирги кунда жахон ва минтақамиз иссиқлик электр станцияларида ишлатилаётган оммавий ТВВ сериали турбогенератор куввати 300÷500 МВт ва ундан катта бўлган турбогенераторларини ротор чулғами водород билан статор чулғамлари эса сув билан совитилади. Шунинг учун бундай турбогенератор статор чулғамларини яхши совитиш учун ичи ковак мис ўтказгичлардан тайёрланади ва бу мис ўтказгичларнинг ичидан бир неча атмосфера босимда дистиллят сув ёки чулғамлар жойлашган пазларнинг ташқи томонидан водород ўтказилиб совитилади. Водороднинг ўрнига дистиллят (кимёвий тузлардан тозаланган) сув ишлатса яна ҳам самарали бўлади. ТВВ сериали катта кувватли турбогенераторларни ротор чулғамларга водород компрессор ёрдамида берилади, статор чулғамларига сувни бериш учун эса насослар қўлланилади.

Чулғамларни бевосита ўтказгичлар ичидан совитишда изоляция температуранинг камайиши бўлмади ва аксинча ток зичлигини кескин ошириш мумкин. Сув билан бевосита совитилганда электр машина кувватининг чегараланишига актив қисмларининг қизиши эмас, балки бошқа техник ва иқтисодий кўрсаткичлар ҳам сабаб бўлади [1].

Шундай экан турбогенераторларнинг ток ўтказувчи қисмларини совитишда асосан ташқи ёпиқ тизим ёрдамида бевосита совитиш усулидан фойдаланилади [1,2]. Бу тизимда айланувчи оқава сувлар юқори диэлектрик хусусиятларга эга бўлиб, тизимни солиштирма электр қаршилиги 200 кОм/см дан кам бўлмаган дистиллят (кимёвий тузсизланган) сув билан тўлдирилган. Бунда сув айлантирувчи ёпиқ тизимнинг барча қувурлари, арматураси ва аппаратураси коррозияланмайдиган материаллардан тайёрланган бўлади.

Асосий қисм: Совитувчи дистиллятни узатиш ва чиқариш учун генераторнинг турбина томонида иккита корпусдан изоляцияланган ҳалқасимон коллекторлар ўрнатилган бўлиб, уларда чулғамни совитиш учун сувни узатувчи ва олувчи шланглар бураб киритилган штуцерлар мавжуд. Тизимни дистиллят билан тўлдириш жарёнида улардаги ҳавони чиқариб юбориш учун генераторларнинг конструкцияларида уларни напор билан чиқариш коллекторларини энг юқори нуқталарига уланган ва статор корпусидан чиқарилган кранли назорат қувурлари ҳамда иссиқлик алмаштиргичлар, фильтрлар ва насосларда воздушниклар кўзда тутилган.



1 - расм. Генератор статор чулғамларини сувли совитиш схемаси: 1 - генератор статори, 2 - кенгайтирувчи бак, 3 - даражали реле, 4 - сув сатҳини ростлагич, 5- сув оқими назорати, 6 - сув насослари, 7 - иссиқлик алмашинувчи қурилмалар, 8 - магнитли фелтрлар, 9 - конденсат насосларидан кейинги конденсат, 10 - газ совутгичли насослардан кейин айланма сув, 11 - тузсизланганган конденсат магистрали томонидан дистиллят билан тўлдириш

Статор чулғамига дистиллятни узатиш биринчи ишчи, иккинчиси эса захирада турувчи иккита ўзгарувчан ток электр моторларига (6) эга бўлган марказдан қочма насослар ёрдамида амалга оширилади. Насослар билан бошқаришни ишга тушириш схемаси бўйича, бир-бири билан шундай блокланганки, тизимда дистиллят босими номиналдан 1 кг/см^2 дан кўп миқдорга пасайганида ёки ишчи насос ишдан чиққанда захирадаги насос автоматик тарзда ишга тушади. Насоснинг сўрувчи патрубкисига дистиллятнинг узатилиши кенгайтирувчи сув баки (2) дан амалга оширилади. Дистиллят насосдан иссиқлик алмаштиргич (7) га тушиб, у ерда зарур бўлган хароратгача совитилади. Схепада учта иссиқлик алмаштиргични ўрнатиш кўзда тутилган бўлиб, улардан иккитаси ишчи, биттаси захирада туради.

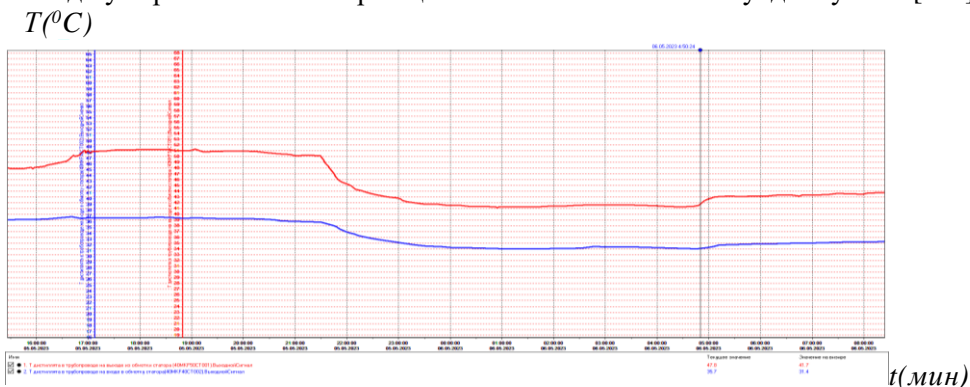
Иссиқлик алмаштиргичлардан иссиқликни чиқариб юбориш газ совиткичларидан келувчи конденсат ёрдамида амалга оширилади. Ишчи иссиқлик алмаштиргичлардан чиқувчи совитилган дистиллят статор чулғами

стерженини механик заррачаларнинг тушишидан химояловчи фильтр (8) га киради. Тизимда иккита фильтр мавжуд. Улардан бири доимо ишлайди, иккинчиси-захира фильтри бўлиб, у филтрларнинг турлари тизим ишлаши узлуксизлигини таъминлаган ҳолда текшириш ва тозалаш имконини беради. Фильтрларнинг тўлиб қолганлигини назорат қилиш улардан олдин ва кейин ўрнатилган манометрлар ёрдамида амалга оширилади [3-4].

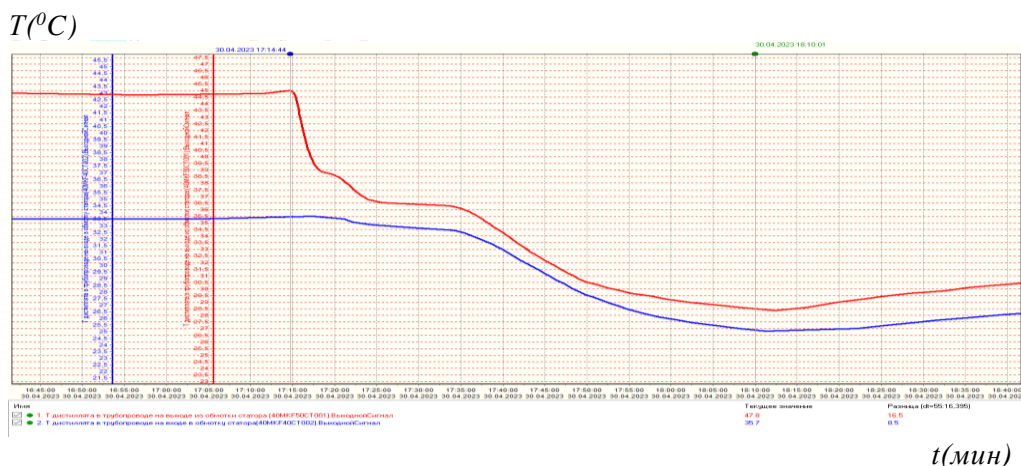
Дистиллятни тасодифий ферромагнит заррачалардан тозалаш учун унинг чулғамга кириши олдида схемада генераторнинг напор коллектори олдида бевосита ўрнатулган ва доимо ишчи ҳолатда бўлувчи магнит филтрлари кўзда тутилган. Тозаланган ва совитилган дистиллят аввало статор чулғамига, сўнгра сув бакига киради. Тизимда зичликнинг пастлиги ёпиқ циклдан ўтувчи дистиллят ҳаво билан ифлосланади. Дистиллятни ҳаводан тозалаш учун уни сув бакида турбина конденсаторларининг айлантурувчи қувурлари (9) да (конденсацион турбиналар учун) ҳосил қилинувчи вакуум ёрдамида сув бакида қайта ишлаш кўзда тутилган.

Генератор статори (1)нинг чулғамидан ўтиб қизиган дистиллят сув бакига қуйилади, ҳаво шарчаларини ажратиб сачрайди, натижада сув бакининг ҳаво камерасида сийраклашиши муносабати билан (вакуум 200-300 мм см.устунига тенг бўлган) ҳаво сув бакини чиқарувчи қувурлар билан туташтурувчи қувурча бўйлаб узоқлашади.

Дистиллятнинг солиштирма қаршилигини ўлчаш датчиги напорли қувур (5)да, автоматик кўрсатувчи кўприги эса сигналлаш панелида ўрнатилган асбоб ёрдамида амалга оширилади. Оқиб чиқиб кетувчи дистиллятнинг ўрнини тўлдириш сув баки орқали амалга оширилади. Бакнинг тузилишини дистиллятнинг берилган сув сатҳини ростлагич (4) ёрдамида стабил тутиб туриш, сатҳни кўриб назорат қилишни, сатҳ чегаравий қийматига тенг бўлгандан кейин, маълум бир даражага чиқади шундан сўнгина сув автоматик (3) ҳолатда учурилишини назорат қилиш яъни сигналлаш кўзда тутган [5-6].



2-расм. Турбогенераторни ишга тушириш ҳолатидаги статор чулғамига кириш ва чиқишидаги дистиллят сув темиратурасини вақтга боғлиқлик $T=f(t)$ осциллограммаси



3-расм. Турбогенераторни қисқа туташув ҳолатидаги статор чулғамига кириш ва чиқишидаги дистиллят сув темиртурасини вақтга боғлиқлик $T=f(t)$ осциллограммаси

Бунда, 2-расмдаги осциллограммадан кўриниб турибдики турбогенератор ишга тушириш ҳолатида статор чулғамига кирувчи (кўк чизик) сувнинг темиртураси бошланғич $39,3^{\circ}C$ дан $35,7^{\circ}C$ яъни нормал ҳолатга ўтиш учун 3,5 соат ишлаши керак экан, чиқувчи (қизил чизик) дистиллят сув темиртураси номинал ҳолатга ўтиши учун $54,3^{\circ}C$ дан $47,8^{\circ}C$ яъни нормал ҳолатга ўтиш учун 2,4 соат ишлаши керак экан, шу қийматларни доимий назорат қилиб турувчи термодатчиклар ўрнатилган бўлиб бу термодатчик ёрдамида ҳар битта чулғам стерженлари темиртурасида бўлаётган ўзгаришлар доимий текшириб борилади.

Кейинги, 3-расмдаги осциллограммада турбогенераторнинг қисқа туташув ҳолатидаги иш жараёни келтирилган бўлиб бунда, статор чулғамига кирувчи (кўк чизик) сувнинг темиртураси бошланғич ҳолатда $35,7^{\circ}C$ дан тушиб кетаётганлигини огоҳлантирувчи сигнал хабари тез орада яъни 1,5 минутда оралиғида юборилишини кўриш мумкин. Чиқувчи (қизил чизик) дистиллят сув темиртураси номинал ҳолатда $47,8^{\circ}C$ эди, лекин $45^{\circ}C$ га яъни $2,8^{\circ}C$ га пасайганлигини, кейин яна 1 минутдан кейин бирданига кескин пасайиб огоҳлантирувчи сигнал юборилганлигини кўзатиш мумкин. Қуйдаги осциллограммалардан келиб чиқиб бу қийматларни доимий назорат қилиб турувчи термодатчиклар ёрдамида ҳар битта чулғам стерженларидан оқиб ўтувчи дистиллят сув темиртурасида бўлаётган ўзгаришлар доимий текшириб турилиши, қандайдир носозлик бўлса қисқа вақтда баратараф қилиш керак, агар буни иложи бўлмаса генераторни тармоқдан ўзиш керак бўлади.

Дистиллят сувнинг оқиб чиқиб кетишидан ҳимоя қилиш, махсус лойиҳаловчи ташкилотнинг схемаси бўйича иккита сарф ўлчагичдан фойдаланиб амалга оширилади. Иккита сарф ростлагичларнинг датчиклари

генератордан олдин ва кейин ўрнатилган битта диафрагмасига уланган.

Сарф ростлагичларнинг иккиламчи асбоблари нафақат ёпиқ тизимда айланувчи дистиллят сарфини ўлчаш учун, балки ўлчанувчи параметр қийматининг иккита берилган чегаравий қийматларига нисбатан оғишини сигналлаш учун ҳам хизмат қилади [6]. Сигналлагичнинг дистиллят сарфи камайишини қайд этувчи биринчи қуйилмаси огоҳлантирувчи, иккинчиси эса авариявийдир.

Дистиллятнинг сарфи чегаравий қийматга эришганда генератор тармоқдан узилиши шарт. Генераторнинг газ совиткичлари, статор чулғами тизимининг иссиқлик алмаштиргичлари ва қўзгаткичларнинг совиткичларидан иссиқликни чиқариб юбориш совитувчи сувни насослари қўзгаткичнинг совиткичлари генераторнинг газ совиткичлари иссиқлик алмаштиргичлар иссиқ конденсат совиткичи (ИКС) ёки айланувчи иссиқ сув совиткичи (АИСС) совиткичлари-насослар кўринишидаги ёпиқ контур бўйлаб ҳайдаш орқали амалга оширилади. Ёпиқ контурнинг совитувчи муҳити бўлиб блокнинг тузсизлагич қурилмаси (БТҚ) дан олинувчи тузсизланган сув ҳисобланади.

Совитувчи сувни узатиш ўзгарувчан ток электр моторларига эга бўлиб, биттаси ишчи, иккинчиси эса захирадаги ҳисобланувчи иккита марказдан қочма насослар ёрдамида бу жараёнлар амалга оширилади. Бошқариш тизимини ишга тушириш схемаси бўйича насослар ўзаро шундай блокланганки, бунда сувнинг босими рухсат этилганидан тушиб кетганда ёки ишчи насос ишдан чиққанда электр контактли манометрдан олинувчи импульс таъсирида захирадаги насос автоматик уланади.

Сув трактини тўлдириш, тўйинтириш ва насосларнинг нормал ишлашини таъминлаш учун схемада ёпиқ контурнинг барча элементларидан сувни тўкиш имконини таъминловчи 10 м³ ҳажмдаги компенсацияловчи бакка эга. Совитувчи контурдан иссиқликни чиқариш ИКС даги, турбина вакууми ёмонлашган ҳолатда эса, конденсатнинг ҳарорати 28 °С дан юқори бўлганда, АИСС даги конденсат насосларидан кейинги конденсат ёрдамида амалга оширилади. Конденсат насосларидан кейин конденсат ёки айланувчи сувнинг ҳарорати 28 °С дан, ИКС ва АИСС дан чиққан конденсатнинг ҳарорати 33 °С дан катта бўлган ҳолатда совитувчи сув бевосита айлантирувчи қувурлардан ёпиқ контурнинг сув насослари орқали кириб келиши шарт. Бундай ҳолатда ИКС ва АИСС ларнинг фаолияти тўхтайтиди. Тизим конденсат билан тўлган ҳолатда ёпиқ контурдан ҳавони чиқариб юбориш учун совиткич ва қувурнинг энг юқори нукталаридаги мавжуд барча воздушникларни очиш зарур.

Газ совиткичлари ва иссиқлик алмаштиргичларнинг ёпиқ контуридаги конденсатни олиб ташлаш дренаж бакига ёпиқ контурнинг пастки нуктасида ўрнатилган вентилни очиш орқали амалга оширилади. Ёпиқ контурнинг совитувчи конденсат ҳароратини масофадан ўлчаш имкониятини ҳосил қилиш учун иссиқлик алмаштиргичларнинг напорли ва чиқариш қувурларида каршилиқ термометрлари ўрнатилади [7-10].

Генераторнинг сувли совитиш тизимида носозликлар содир бўлганда

бошқаришнинг технологик шчитида қуйидаги сигналларнинг ишлаши таъминланади:

- дистиллятнинг статор чулғами орқали оқиб ўтиши кам бўлганда ҳолатда, сигнал сув насослари захирасининг автоматик уланиши (ЗАУ) циклини кутиш учун вақт оралиғи бир хиллик билан ишлаши шарт.

- сувли совитиш тизимининг носозлиги, бунда сигнал асосий гуруҳ сигнали ҳисобланади. Бу сигналнинг ишлашига олиб келган сабабни аниқлаш сувли совитиш панелида ўрнатилган кўрсатувчи релелар ёрдамида амалга оширилади.

Сигнал сувли совитиш тизимининг нормал ҳолатда ишлашида қуйидаги оғишларга рухсат берилмайди:

- статор чулғамига кириш жойида дистиллят босимининг пастлиги;
- дистиллятнинг солиштира қаршилигини пасайиши;
- вакуум бакида сув сатҳининг баландлиги;
- вакуум бакида сув сатҳининг пастлиги;
- статор насосларининг авария туфайли узилиши;
- статор насослари ЗАУ;
- тизимни бошқариш ва сигналлаш занжирларида автоматларнинг узилиши;
- статор чулғами орқали ўтувчи дистиллят сарфи кам бўлганда.

Статор чулғамининг сувли совитиш насослари электр моторларининг ҳолатлари ҳақида сигналлаш қизил уланган ва яшил узилган сигнал лампалари ёрдамида амалга оширилади. Нормал шароитда сигналлаш лампалари умумпанел алмашлаб улагичи ёрдамида ўчирилган бўлади. Бундай ҳолатда иккита насос учун умумий бўлган захирани автоматик улаш (ЗАУ) занжирлари захирадаги насос оператив занжирларидан таъминланади. ЗАУ занжирлари таъминотини алмашлаб улаш захира насосини танлашда фойдаланилувчи алмашлаб улагич ёрдамида амалга оширилади.

Бунда электр контактли манометрнинг нормал шароитда очик контактларига импульсли таъсир (ИТ) этувчи реле ЗАУ нинг чулғамини таъминлайди. Импульс реле (ИР) ўз-ўзини тутиб туради ва чиқувчи реле ЗАУ, ИР нинг занжирини ишга тайёрлайди. Ишчи насос НСА электр моторининг авария ёки хатолик туфайли ПР нинг 7-5 контактида узилган ҳолатида РА релеси ишга тушиб, захирадаги насос НСБ нинг электр моторларини улайди. ЗАУ, шунингдек, дистиллятнинг босими тушиб кетган ҳолатда ҳам манометрнинг нормал-ёпиқ контактидан таъминланиб ишлайди. Насос режали узилганда ЗАУ, блоклаб алмашиниш (БА) қурилмасини узилган ҳолатига қўйиш орқали ишдан чиқарилади. Бунда ЗАУ нинг чиқиш релеси ва насоснинг авариявий узилишини сигналлаш релеси кўрсаткичи тушиши 1-жадвалдаги каби технологик бошқариш шчитида сувли совитиш тизимининг носозлиги гуруҳ сигналини ишлаши билан аниқланади.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

1-жадвал

Носозлик	Эҳтимоллик сабаби	Баргараф этиш усуллари
Солиштира қаршиликнинг пасайиши	Дистиллят контурига технологик сувнинг тушишдан иссиқлик алмаштиргичда кувурчаларнинг зичлиги бузилган.	Иссиқлик алмаштиргичлар навбатма-навбат ишдан тўхтатилади. Дистиллятнинг солиштира қаршилиги меърий қийматгача етказилади. Ишдан тўхтатилган иссиқлик алмаштиргич контур бўйича зичликка текширилади ва носозлик баргараф этилади.
Вакуум бакида сувнинг сатҳи баланд	Сатҳ ростлагичининг носозлиги.	Бақдаги дистиллят номинал сатҳ таъминлангунча тўкилади. Тизимни кўлда тўлдириб туришга ўтилади ва энг яқин имкониятда сатҳ ростлагичи таъмирланади.
Вакуум бакида сувнинг сатҳи паст	Сатҳ ростлагичининг носозлиги.	Бак номинал сатҳ ўрнатилгунча тўлдирилади. Тадбирлар юқоридаги пунктдаги кабидир.
Статор чулғами олдида дистиллятнинг босими паст	Фильтр тўлиб қолган.	Захирадаги филтрга ўтилиб, ишдан тўхтатилган филтр тозаланади.
Дистиллятнинг сарфи кам	Напорли магистралда вентил ёпик ёки рециркуляциялаш вентили очик.	Вентилларнинг ҳолатлари ишчи схемага мувофиқ текширилади.

Хулоса: Сув билан совутиладиган турбогенераторларнинг статор чулғамларида бўлаётган носозликларни олдиндан аниқлаш учун турбогенераторнинг статор чулғамидан оқиб ўтаётган дистиллят сувнинг ҳароратини узлуксиз назорат қилиб бориш 1-жадвалга мувофиқ тавсия этилади.

Бу тавсияларга асосан турбогенераторларни статор чулғамларини совутишдаги яширин носозликларни қисқа вақтда сифатли баратараф этиш учун эксплуатацион синовларни кенгайтиришимиз керак, бу эса ўз навбатида турбогенераторнинг ишда ишончилигини янада оширишга ва турбогенератор ишлаш муддатини узайтиришга олиб келади [11-12].

Адабиёт

1. Копылов И.П. Электрические машины. - М: Изд.ВШ. 2004.- 360 с.
2. Методические указания по проведению испытаний генераторов на нагревание. РД 34.45.309-92. -М.: СПО ОРГРЭС, 1993.
3. Эксплуатационный циркуляр Ц-10-85(Э) от 28 мая 1985 г. Об организации водно-химического режима системы охлаждения обмоток статоров турбо- и гидрогенераторов. /Сб. решений и циркуляров ГТУ Минэнерго СССР за 1985 г (Электротехническая часть). М.:СПО Союзтехэнерго, 1986. Объем и нормы испытаний электрооборудования. -М.: ЭНАС, 1998.
4. Патент 1836783 (РФ). Способ контроля креплений обмотки электрической машины / Поляков В. И. Опубл. в Б. И., 1993, № 31.

5. Поляков В. И. Методы диагностики технического состояния генераторов на основе штатных средств измерений: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд.техн.наук. -М.: ВНИИЭ, 1992.

6. Поляков В. И. Метод и прибор для обнаружения нарушений герметичности системы водяного охлаждения обмотки статора работающего турбогенератора. -М.: Вестник ВНИИЭ, 1997.

7. Mathematical Modeling of the Self-Swinging Process of Synchronous Generators N. Pirmatov., A. Bekishev., A. Egamov., S. Shernazarov., F. Isakov., M. Zubaydullayev AIP Conference Proceedings 2612, 050005 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0135546>.

8. Regulation of mains voltage and reactive power with the help of a synchronous compensator by two-axis excitation Pirmatov, N., Bekishev, A., Shernazarov, S., Kurbanov, N., Norkulov, U. E3S Web of Conferences, 264,04028 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404028>.

9. Overvoltage in the free phase of the stator winding in case of asymmetric short circuit implicit pole synchronous generator biaxial excitation. Pirmatov, N., Toshev, S. E3S Web of Conferences 139, 01030 (2019) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901030>.

10. Best overall dimensions of synchronous generator with permanent magnets for small power wind plants and micro hydropower plants. Pirmatov, N., Tosheva, S., Toshev, S. E3S Web of Conferences 139, 01027 (2019) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901027>.

11. Effect of intermediate connections on the generator's static stability Шерназаров С.Э. //Technical science and innovation. -Тошкент, 2019. №2. -С.184-189.

12. Пирматов Н.Б., Шерназаров С.Э., Д.К. Якубова, Т.Э. Рашидов Катта қувватли турбогенераторларнинг статор чулғами стерженларини тўлиб тикилиб қолиши натижасида улардаги қизишни бартараф этиш чоралари. //Энергия ва ресурс тежаш муоммолари. 2023. - №3. -58-68 б.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.3

**ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ
ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА НА КОМПРЕССОРНОЙ
СТАНЦИИ**

А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, И.В. Сотникова, Ж.М. Низамов

Асосий табиий газни сиқии жараёнида унинг ҳарорати ошади, бу эса газни ташиши самарадорлигига салбий таъсир қилади. Экспандерда газнинг адиабатик кенгайиши пайтида оқимнинг энталпияси ўзгармайди, лекин ички энергия ва шунга мос равишда ҳарорат пасаяди. Ортиқча босим энергияси экспандерда механик энергияга, сўнгра электр генераторининг шафтасида ҳосил бўлган электр энергиясига айланади. Бундай ҳолда, иккита фойдали оқимни олиши мумкин: экспандер-генератор блокада (ЭГБ) ишлаб чиқарилиши мумкин бўлган электр энергияси ва ЭГБда совутилган газ оқими. Магистрал қувур орқали ташилаётган газнинг узлуксиз ишишига ёл қўймаслик учун компрессор цехининг конструктсияси газни сиқилгандан сўнг ҳаво совутиши мосламаларида (ҲСМ) совутишини таъминлайди, улар фанатларни ҳайдаш учун электр энергиясининг муҳим қисмини сарфлайди. Ушбу ишда сиқилган газнинг бир қисмини кенгайтиргичдан кейин совутилган ёнилги газининг оқими билан совутиши таклиф этилади, бу ҳаво совутгичи ҳайдовчисида электр энергиясини тежашга ва табиий газ супер зарядловчиларининг иссиқлик энергия ресурсларидан фойдали фойдаланишига имкон беради.

Калит сўзлар: табиий газ, компрессор станцияси, ҳаво совутиши мосламаси, экспандер-генератор, газ турбинали қурилма, газ насос агрегати, энергетика технологиялари мажмуаси.

В процессе компримирования магистрального природного газа происходит увеличение его температуры, что неблагоприятно сказывается на эффективности транспорта газа. При адиабатном расширении газа в детандере энтальпия потока не изменяется, но происходит уменьшение внутренней энергии и, соответственно, температуры. Энергия избыточного давления преобразуется в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую, вырабатываемую электрогенератором. При этом можно получить два потока: электроэнергию, которая вырабатывается в детандер-генераторном агрегате (ДГА) и поток охлажденного в ДГА газа. Для предотвращения непрерывного нагрева газа по мере транспортирования по магистральному трубопроводу схемой компрессорного цеха предусмотрено охлаждение газа после компримирования в аппаратах воздушного охлаждения (АВО), которые затрачивают значительную часть электроэнергии на привод вентиляторов. В данной работе предлагается охладить часть компримированного газа потоком охлажденного топливного газа после детандера, что позволит экономить электроэнергию на привод АВО и полезно использовать тепловые энергетические ресурсы нагнетателей природного газа.

Ключевые слова: природный газ, компрессорная станция, аппарат воздушного охлаждения, детандер-генератор, газотурбинная установка, газоперекачивающий агрегат, энерготехнологический комплекс.

In the process of compression of main natural gas, its temperature increases, which adversely affects the efficiency of gas transport. During adiabatic expansion of gas in an expander, the enthalpy of the flow does not change, but the internal energy and, accordingly, the temperature decrease. The excess pressure energy is converted into mechanical energy in the expander, and then into electrical energy generated on the shaft of the electric generator. In this case, two useful flows can be obtained: electricity, which can be generated in an expander-generator unit (EGU) and a flow of gas cooled in the EGU. To prevent continuous heating of the gas as it is transported through the main pipeline, the compressor shop design provides for cooling the gas after compression in air-cooling units (ACU), which spend a significant portion of electricity on driving fans. In this work, it is proposed to cool part of the compressed gas with a flow of cooled fuel gas after the expander, which will save electricity on the air cooler drive and make useful use of the thermal energy resources of natural gas superchargers.

Key words: natural gas, compressor station, air cooling unit, expander-generator, gas turbine unit, gas pumping unit, energy technology complex.

Добыча и транспортировка газа является одной из самых энергоемких отраслей. Увеличивающаяся добыча газа влечет за собой увеличение потребления газа и соответственно, увеличение вторичных энергетических ресурсов в системах газоснабжения.

При транспортировании газа широкое распространение получили компрессорные станции с газотурбинными установками (ГТУ). Отличительная черта ГТУ – это огромные потери теплоты с уходящими газами [1, 2].

КПД эксплуатируемого парка ГТУ в среднем составляет 24–27 %. При этом у изношенного и морально устаревшего оборудования реальный КПД существенно ниже. Современные газоперекачивающие агрегаты имеют КПД 36–39 %. Из этого следует, что около 70 процентов тепловой энергии топливного газа теряется в атмосфере с уходящими газами.

Сжатие газа в нагнетателях компрессорных станций компримированные сопровождается повышением его температуры на выходе из станции. Нагревание газа при адиабатическом сжатии объясняется тем, что во время сжатия над газом производится работа, которая идёт на увеличение его внутренней энергии.

В настоящее время на компрессорных станциях (КС) топливный газ для газоперекачивающих агрегатов (ГПА) отбирается (рис.1) из магистрального газопровода на входе в КС с давлением 4,5–6,5 МПа. Далее он очищается и дросселируется перед подачей в камеру сгорания до давления 1,5–2,5 МПа. При необходимости топливный газ подогревается [3,4]. Эту схему использования топливного газа на КС можно дополнить детандер-генераторным агрегатом (ДГА) с

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

целью использования энергии избыточного давления газа, заменяя процесс дросселирования детандированием.

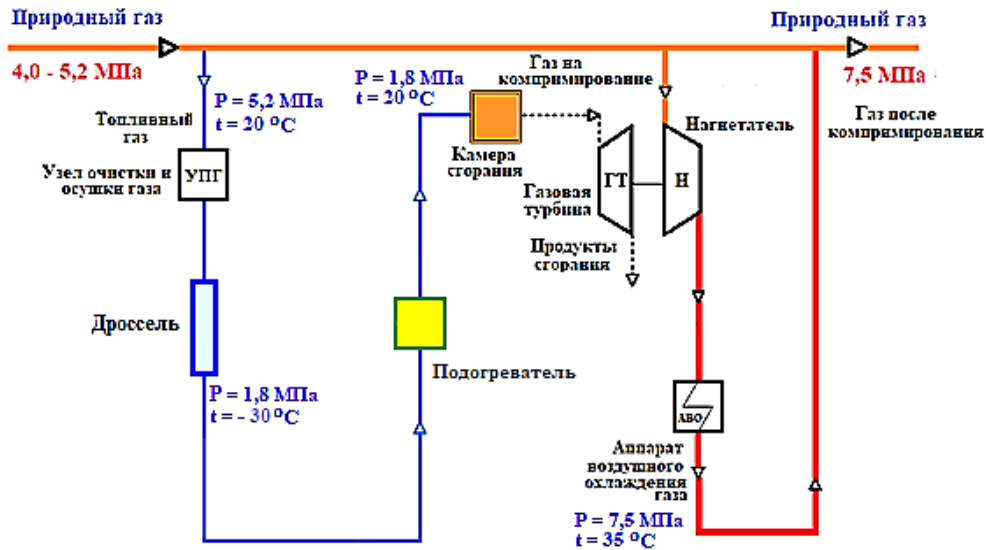


Рис.1. Существующий энерготехнологический комплекс на КС

При адиабатном расширении газа в детандере энтальпия потока не изменяется, но происходит уменьшение внутренней энергии и, соответственно, температуры. Энергия избыточного давления преобразуется в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую, вырабатываемую электрогенератором. При этом можно получить два полезных потока: 1) электроэнергия, которая вырабатывается в ДГА, 2) поток охлажденного в ДГА газа.

В свою очередь, в процессе компрессирования газа происходит увеличение его температуры, что неблагоприятно сказывается на эффективности транспорта газа. Для предотвращения непрерывного нагрева газа по мере транспортирования по магистральному трубопроводу схемой компрессорного цеха предусмотрено охлаждение газа после компрессирования. Обычно газ охлаждают в аппаратах воздушного охлаждения (АВО), которые затрачивают значительную часть электроэнергии на привод вентиляторов.

Существующую схему использования топливного газа на КС можно дополнить детандер-генераторным агрегатом с целью использования энергии избыточного давления газа, заменяя процесс дросселирования детандированием. При этом можно получить два полезных потока:

- в ДГА может вырабатываться электроэнергия для собственных нужд,
- поток охлажденного в ДГА газа использовать для охлаждения компримированного газа.

Известно, что при использовании ДГА температура газа существенно снижается, что требует дополнительного подвода энергии для нагрева газа перед подачей потребителю, в частности в камеру сгорания ГТУ.

Предлагается утилизировать теплоту транспортируемого газа после компримирования для подогрева потока охлажденного топливного газа после ДГА. Это решение позволяет частично отказаться от использования аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа и получить бестопливную схему энерготехнологического комплекса на базе ДГА для выработки электроэнергии.

Разработанная схема (рис.2) утилизации ВЭР на КС магистральных газопроводов предполагает использование энергии избыточного давления топливного газа и части потока теплого транспортируемого газа после компримирования для подогрева холодного топливного газа после ДГА.

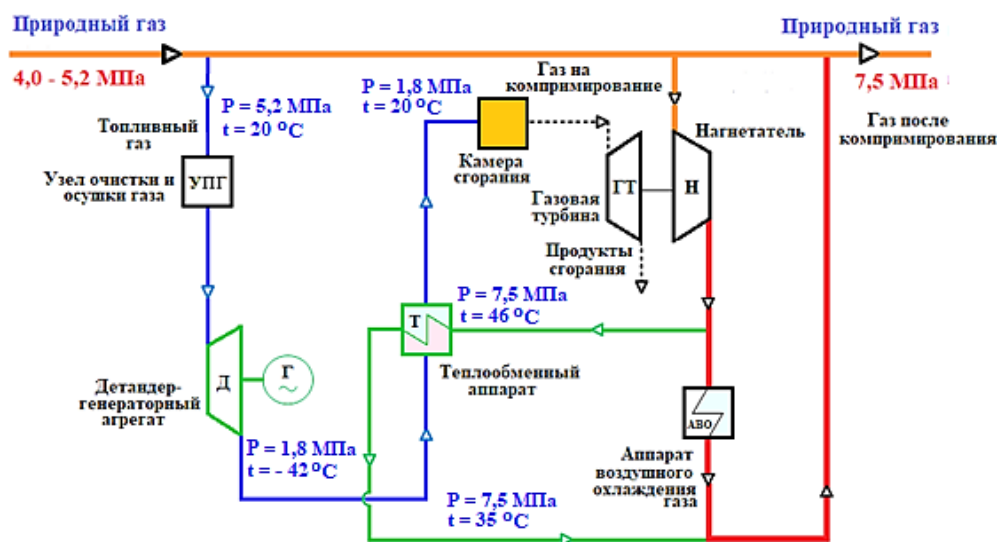


Рис.2. Разработанная схема энерготехнологического комплекса на базе ДГА на КС

Природный газ в количестве, необходимом для обеспечения собственных нужд ГТУ, отбирается из магистрального газопровода перед нагнетателем, проходит очистку и дополнительную осушку и далее поступает в ДГА, где за счет энергии избыточного давления газа происходит выработка электроэнергии. После ДГА охлажденный поток газа поступает в теплообменный аппарат, где подогревается частью потока транспортируемого газа после компримирования. Подогретый в ТОА природный газ поступает в коллектор топливного газа КС, откуда подается в камеру сгорания ГТУ. Основной поток транспортируемого газа после компримирования на КС направляется для охлаждения в аппараты воздушного охлаждения и затем поступает в магистральный газопровод.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В структуре парка газоперекачивающих агрегатов наиболее распространенными ГПА с газотурбинным приводом являются ГПА-Ц-16.

Рассчитаем основные показатели работы энерготехнологического комплекса для предлагаемой схемы с использованием газотурбинной установки ГПА-Ц-16.

Исходные данные, принятые для расчета: давления на входе и выходе станции технологического понижения давления топливного газа – 5,2/1,8 МПа; расход топливного газа 1,2 кг/с; температура в коллекторе топливного газа КС 20°C; температура газа после АВО – 35°C; внутренний относительный КПД детандера - 0,85; электромеханический КПД генератора – 0,95; КПД теплообменного аппарата – 0,95;

Зависимость температуры газа на входе в ДГА от температуры на выходе показана на рис.3.

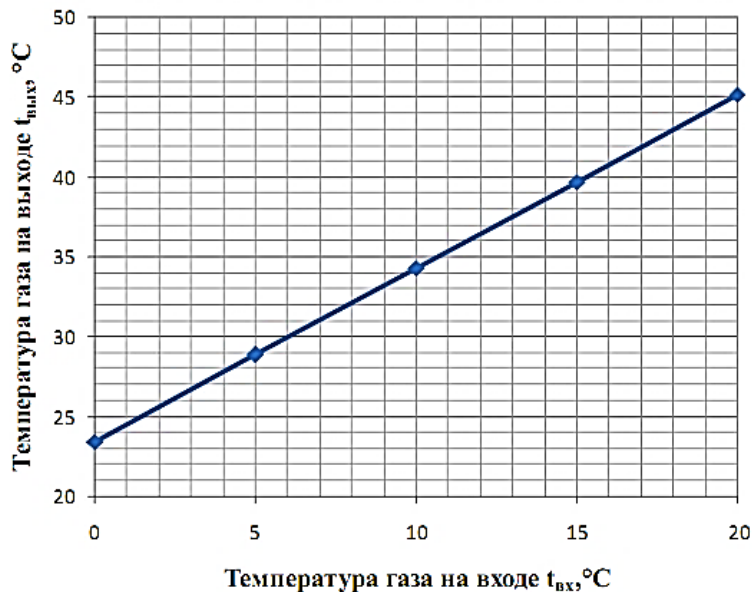


Рис.3. Зависимость температуры газа на входе в ДГА от температуры на выходе

Принятые исходные данные для расчёта:

$$\rho_{\text{см}} = 0,709 \text{ кг/м}^3; t = 20 \text{ }^\circ\text{C}; P_{\text{вх}} = 5,2 \text{ МПа}; P_{\text{вых}} = 1,8 \text{ МПа}; Q = 15,6 \text{ кг/с}.$$

Индивидуальная газовая постоянная R , кДж/кг·К, для газовой смеси природного газа:

$$R = \frac{R_0}{M_{\text{см}}} = \frac{8,314}{15,97} = 0,523 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}; \quad (1)$$

где $M_{\text{см}}$ – молекулярная масса газовой смеси, кг/кмоль;

R_0 – универсальная газовая постоянная, $R_0 = 8,314 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)}$.

Молекулярная масса газовой смеси, $M_{см}$, кг/кмоль:

$$M_{см} = \rho_{см} \cdot 22,4 \text{ (если даётся плотность смеси } \rho_{см} \text{)} \text{ или } M_{см} = \frac{\sum V_i \cdot m_i}{100}.$$

$$M_{см} = \rho_{см} \cdot 22,4 = 0,709 \cdot 22,4 = 15,97 \text{ кг/кмоль,} \quad (2)$$

где V_i – объёмные концентрации компонентов газа, %: V_1 – (90-97,9%) объёмная концентрация метана; V_2 – (0,75-4,75%) объёмная концентрация этана; V_3 – (0,30-1,2%) объёмная концентрация пропана; V_4 – (0,01-0,5%) объёмная концентрация *i*-бутана; V_5 – (0-0,4%) объёмная концентрация *n*-бутана; V_6 – (0-0,2%) объёмная концентрация *i*-пентана; V_7 – (0-0,15%) объёмная концентрация *n*-пентана; V_8 – (0-0,3%) объёмная концентрация гексана; V_9 – (0,1-2,5%) объёмная концентрация углекислого газа; V_{10} – (0,2-1,3%) объёмная концентрация азота; V_{11} – (0-0,3%) объёмная концентрация кислорода.

m_i – молярная масса компонентов, кг/моль: $m_1=16,04$ - молярная масса метана; $m_2=30,07$ - молярная масса этана; $m_3=44,09$ - молярная масса пропана; $m_4=58,12$ - молярная масса *i*-бутана; $m_5=58,12$ - молярная масса *n*-бутана; $m_6=72,15$ - молярная масса *i*-пентана; $m_7=72,15$ - молярная масса *n*-пентана; $m_8=86,18$ - молярная масса гексана; $m_9=44,01$ - молярная масса углекислого газа; $m_{10}=28,01$ - молярная масса азота; $m_{11}=31,99$ - молярная масса кислорода.

Перепад энтальпии при адиабатическом процессе расширения газа, $H_{Ад}$, кДж/кг, в детандер–генераторе:

$$H_{Ад} = \frac{k}{k-1} \cdot z \cdot R \cdot T \cdot \left(1 - \left(\frac{P_{вых}}{P_{вх}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) =$$

$$\frac{1,3}{1,3-1} \cdot 0,882 \cdot 0,523 \cdot 293 \cdot \left(1 - \left(\frac{1,8}{5,2} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} \right) = 458,19 \text{ кДж/кг} \quad ; \quad (3)$$

где z – коэффициент сжимаемости, в зависимости от температуры и давления; $z = 0,9933$; k – объёмный показатель адиабаты, в зависимости от температуры и давления (если дана плотность смеси $\rho_{см}$, то $k = 1,3$); R – индивидуальная газовая постоянная, Дж/кг·К; T – температура газа на входе в ДГА, °К; где $T = t + 273$; t – °С; $P_{вх}$ – давление газа на входе в ДГА, МПа; $P_{вых}$ – давление газа на выходе из ДГА, МПа.

$$T = t + 273 = 20 + 273 = 293^\circ\text{C}.$$

Массовый расход природного газа G , через ГРП, кг/с: 15,0 кг/с.

Номинальная располагаемая мощность $N_{ДГА}$, кВт, которая может быть получена при помощи ДГА:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

$$N_{\text{ДГА}} = G \cdot H_{\text{АД}} \cdot \eta = 15,0 \cdot 458,1 \cdot 0,7533 = 5176 \text{ кВт}; \quad (4)$$

где G – массовый расход природного газа, кг/с;

$H_{\text{АД}}$ – перепад энтальпии, кДж/кг; η – общий КПД ДГА:

$$\eta = \eta_{\text{ген}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_0 = 0,93 \cdot 1 \cdot 0,81 = 0,7533; \quad (5)$$

где $\eta_{\text{ген}} = 0,93$; $\eta_{\text{мех}} = 1$; $\eta_0 = 0,81$.

Годовая выработка электроэнергии ДГА:

$$W_{\text{ДГА}} = N_{\text{ДГА}} \cdot 24 \cdot \tau = 5176 \cdot 24 \cdot 350 = 43\,478\,400 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год} \quad (6)$$

где τ – продолжительность работы ДГА в году; $\tau = 350$ дней.

Среднегодовой тариф на покупную электроэнергию $C_{\text{ээ}} = 450 \text{ сум/кВт} \cdot \text{ч}$

Снижение затрат:

$$\Delta\Pi_{\text{ДГП}} = W_{\text{ДГА}} \cdot C_{\text{ээ}} = 43478400 \cdot 450 = 19\,565\,280\,000 \text{ сум/год.} / 1\,707\,714 \text{ долл./год.} \quad (7)$$

Графики зависимости электрической мощности ДГА от расхода газа и давления газа на входе представлены на рис.4,5.

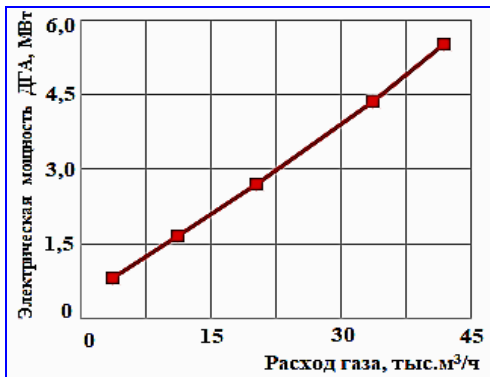


Рис.4. График зависимости мощности ДГА от расхода газа

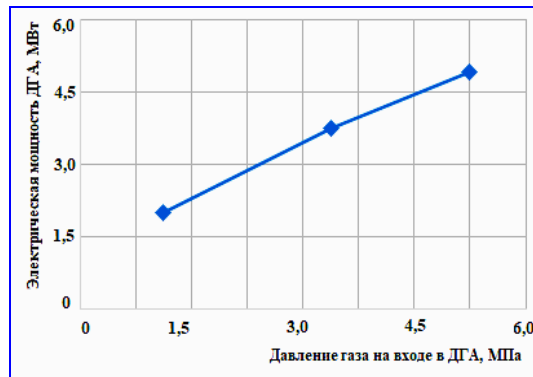


Рис.5. График зависимости мощности ДГА от давления газа на входе

Таким образом, рассчитаны основные показатели работы энерготехнологического комплекса на базе ДГА на компрессорной станции. Предложенная схема позволяет комплексно использовать часть вторичных энергетических ресурсов компрессорной станции, а именно:

1. Полезно использовать нереализованный потенциал избыточного давления топливного газа на КС для выработки электроэнергии в ДГА для собственных нужд станции или продажи сторонним потребителям.

2. Использовать часть потенциала тепловых ВЭР нагнетателей природного газа, подогревая охлажденный поток топливного газа после ДГА частью потока газа после компримирования.

3. Получить экономию покупной электроэнергии на компрессорной станции для привода вентиляторов АВО за счет охлаждения части потока газа после компримирования потоком охлажденного топливного газа после ДГА.

Литература

1. Байков И.Р., Гатауллина А.Р., Молчанова Р.А., Кулагина О.В. Использование энергии давления транспортируемого природного газа // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2013. – № 2. – С. 37–40.

2. Зацепин С.С., Купцов С.М. Применение турбодетандерных установок на газораспределительных станциях / Территория «НЕФТЕГАЗ», 12, 2016. – С. 50-53.

3. Мукольянц А.А., Сотникова И.В., Эргашева Д.К., Таубалдиев А.А. Детандер-генераторная установка для утилизации энергии избыточного давления природного газа // E3S Web of Conferences., 289, 07034. 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907034>.

4. Клименко А.В., Агабабов В.С., Борисова П.Н., Петин С.Н. Термодинамическая эффективность использования детандер-генераторных агрегатов на станциях технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа // Теплофизика и аэромеханика., 2017. 24, – С. 964 – 968.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

UDK 621.354

**ELEKTR ENERGIYASINI YIG'UVCHI MOSLAMALARNING ZARYADLANISH
PARAMETRLARINI HISOBLASHNING MATEMATIK MODELINI ISHLAB
CHIQLASH**

A.I. Qarshibayev, X.SH. Murodov

Maqolada Sheferd formulalari asosida elektr yig'uvchi geliyli turg'un akkumulyator batareyalarining zaryadlash va zaryadsizlanish jarayonini mavjud matematik modellar va umumiy fizika formulalari yordamida matematik modelini ishlab chiqilgan. Ishlab chiqilgan matematik model yordamida akkumulyator batareyalarining sxemasi qurilgan va bu sxema yordamida Matlab dasturining Simulink paketi vositasida imitatsiya modeli qurilgan. Asosan bir xil kuchlanishli akkumulyator batareyalarga qaraganda bir-biridan kuchlanishi 10 % farq qiladigan akkumulyator batareyalar zaryadlanganda ularning zaryad ko'rsatkichlari sezilarli darajada pasayishini ko'rsatdi. Maqolada Hoppecke firmasining 16 OPzV 2000 turidagi turg'un akkumulyatorning matematik modeli uchun elektrotexnik parametrlaridan foydalanilgan. Akkumulyator batareyalari matematika modelining parametrlarini aniqlashning usullari keltirilgan. Umumiy holda akkumulyator batareyalarining zaryadlash parametrlarini hisoblashning matematik modelini ishlab chiqilgan. Model akkumulyator batareyalarining elektrotexnik parametri kuchlanishining zaryadga bog'liqligini real vaqt uchun hisoblash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: akkumulyator batareyasi, matematik model, zaryadlanish, zaryadsizlanish, elektrotexnik parametr, kuchlanish.

В статье на основе формулы Шефферда разработана математическая модель процесса зарядки и разрядки электрических аккумуляторных гелиевых аккумуляторных батарей с использованием математических формул общей физики. С помощью разработанной модели строится схема аккумуляторных батарей, а с помощью этой схемы строится имитационная модель средствами пакета Simulink программы MATLAB. Аккумуляторы батарей, напряжение которых отличались друг от друга на 10%, по сравнению с аккумуляторами с одинаковым напряжением, показали значительное снижение зарядных характеристик. В статье использованы электротехнические параметры для модели стационарной батареи типа 16 OPzV 2000 фирмы Хоппеке. Приведены способы определения параметров по математической модели аккумуляторных батарей. Приведена модель расчета параметров заряда аккумуляторных батарей для общего случая. Модель позволяет рассчитать в реальном времени зависимость напряжения электротехнического параметра аккумуляторных батарей от заряда.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, математическая модель, зарядка, разрядка, электротехнический параметр, напряжение.

In the article, based on Shepherd's formula, a mathematical model of the process of charging and discharging electric rechargeable helium batteries using mathematical formulas of general physics is developed. With the help of the developed model, a battery circuit is built, and with the help of this circuit, a simulation model is built using the Simulink package of the MATLAB program. Batteries that differed from each other in voltage by 10%, compared with batteries with the same voltage, showed a significant decrease in charge characteristics when charging. The article uses electrical parameters for the Hoppecke stationary battery type 16 OPzV 2000 model. The methods of determining the parameters of the mathematical model of batteries are given. A model for calculating the parameters of the battery charge for the general case has been developed. The model allows you to calculate in real time the dependence of the voltage of the electrical parameter of batteries on the charge.

Key words: battery, mathematical model, charging, discharging, electrical parameter, voltage.

Ko'plab zamonaviy energiya yig'uvchi manbalar sifatida hozirgi kunda ham katta quvvatdagi qo'rg'oshin-kislota asosidagi akkumulyator batareyalar amalda qo'llanilib kelinmoqda. Elektr ta'minoti tizimida akkumulyator batareyalaridan transportda, aviatsiya-kosmik qurilmalarida, suv texnikalarida, statsionar obyektlarda keng foydalanmoqda. Birinchi navbatda o'ta muhim iste'molchilarni shuningdek ularning texnologik jarayonlarini va butun ishlab chiqarish majmualarini boshqarish tizimlarini elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlashda qo'llanilmoqda. Energiyani saqlash tizimi bozor iqtisodiytida taraqqiy bo'lib bormoqda. Asosiy masala bo'lib akkumulyator batareyalarining (AKB) elektrotexnik parametrlarini nazorat qilish va energiya samaradorligini oshirishdan iborat bo'ladi. Hozirgi kunda ko'plab zamonaviy obyektlar yoki avtonom obyektlarda bo'ladigan baxtsiz hodisalar, buzulishlar va boshqa kritik vaziyatlar orqali elektr ta'minotidan uzulish katta miqdordagi resurslar yo'qotishlari yuzaga kelmoqda. Bu muammolarni hal qilishda qo'shimcha ravishda majmuaviy elektrotexnik qurilmalarni joriy etish bunda elektr energiyasini ishlab chiqish, saqlash, o'zgartirish va uzatishni talab etadi [1].

Zaryadsizlanish egriligi, shuningdek AKBning parametrlariga va uning barcha tashkil etuvchilariga bog'liq bo'lgan batareya ekvivalent sxemasi tuziladi (masalan zaryadlanish darajasiga bog'liq). Bunda oxirgi yondashuv standart modellastirishga ancha yaqinroq bo'lib AKBning elektrotexnik tashkil etuvchilarini o'zida soddaroq ko'rsata oladi va Matlab Simulink va boshqa dasturlarda tasvirlash uchun bir muncha qulaylik yaratadi [2,3].

AKB joriy holatini oddiy matematik modellastirish Puekerta va Sheferd tenglamasi (1) hisoblanadi [4]. AKB zaryadsizlanish vaqtining doimiy zaryadsizlanish tokiga bog'liqligi hisoblanadi [5]:

$$\tau_I = \frac{const}{I^p}; \quad (1)$$

bu yerda $\tau_1 - I$ tokda zaryadsizlanish vaqti, s; $I -$ zaryadsizlanish toki, A; $p -$ Puerta ko'rsatkichi.

1-jadval

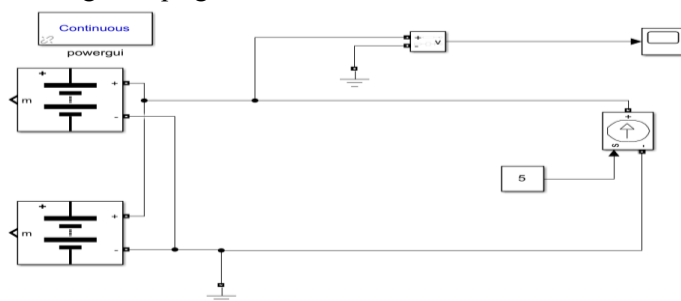
AKB turiga va xaroratiga bog'liq Puerta ko'rsatkichi

AKB turi	p	AKB turi	p
Pb	1.27-1.34	Ni-Zn-H	1.09
Ni-Cd	1.14	Ag-Zn	1.05
Ni-Mh	1.10	Na-S	1.10

Sheferd modelida AKB tok va kuchlanishini elektrokimyoviy jihatidan bog'laydi (2):

$$E_1 = E_0 - R_{ich} \cdot I - K_1 \cdot \frac{f}{1-f}; \quad (2)$$

bu yerda $E_1 -$ AKB kuchlanishi, V; $E_0 -$ AKB ning to'liq zaryadlangandagi zanjirdan ajralgan kuchlanishi, Om; $I -$ zaryadsizlanish toki, A; $K_1 -$ kuchlanishning qutblanishi, V; $f = \int \frac{Idt}{Q} -$ AKB zaryadlanish darajasi, yoki (yig'ilgan zaryadning to'liq sig'imga nisbati); $Q -$ AKB ning to'liq sig'imi, $A \cdot soat$.



1-rasm. Parallel ulangan 2 ta bir xil kuchlanishli, qo'rg'oshin kislotali AKBlarni MatLab-Simulinkda zaryadlash sxemasi

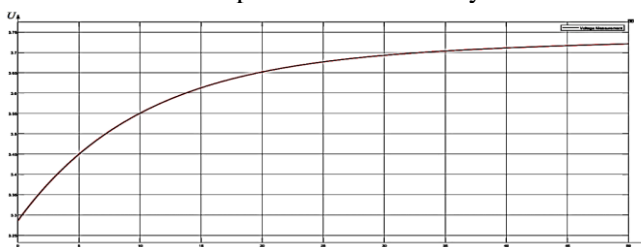
Almashtirish sxemalari elektr qurilmaning matematik modelini grafik tasvirlanishi hisoblanadi. AKB ning almashtirish sxemalarining oddiylarini qarab chiqilganki unda oxirgi sig'im, zaryadlanish vaqtidagi o'ta kuchlanish, kondensator modeli bilan, zaryadlanish tezligi chegarasini immitatsiyalash, akkumulyatorlar guruhining muvozanatlanish darajasi inobatga olinmagan. Bundan tashqari bir nechta murakkab sxemalar masalan Tevinina modeli, zaryadlanishdagi o'ta kuchlanishni immitatsiyalagan buni ichiga yana o'z-o'zini zaryadsizlash rezistorini ham oladi [6].

Shunday almashtirish modellari borki unda zanjirning element qiymatlari tok yoki kuchlanishga bog'liq bo'ladi. Ba'zi hollarda o'ta kuchlanish va ichki qarshilik zaryadsizlanishi va zaryadlanish rejimlarining davri, rezistorlari batareyaning elektr xususiyatlarini takrorlash uchun turli xil xususiyatlarga ega chiziqli bo'lmagan elementlar tomonidan immitatsiyalanadi [7].

AKB ning matematik modelini yaratishda uning Matlab-Simulink Simulink dasturiy vositasidan foydalaniladi [8, 9].

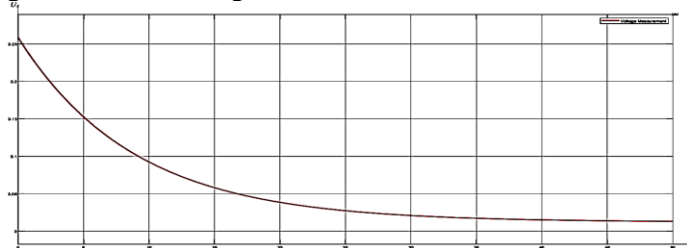
Simulink MATLAB muhitiga birlashtirilgan bo'lib, u o'rnatilgan matematik algoritmlar, kuchli ma'lumotlarni qayta ishlash vositalari va ilmiy grafiklarda qurish imkonini beradi [10-11].

Matlab Simulink dasturi yordamida akkumulyator batareyasining modelini quramiz. Bunda ikkita akkumulyator batareyasining zaryadlanish va zaryadsizlanishdagi jarayonni ko'rib chiqamiz. 2-rasmda 2 ta bir xil parametrlilik AKB zaryadlash sxemasi keltirilgan.



2 – rasm. Kuchlanishi 2 Voltli elektr sig'imi 2000 A·soatli 2 ta akkumulyatorlarning zaryadlanish jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial o'zgarishi

Bir hil parametrlilik 2 ta akkumulyator batareyasining zaryadsizlanish kuchlanishining vaqtga bog'liqligi 3-rasmda keltirilgan.



3 – rasm. Kuchlanishi 2 Voltli elektr sig'imi 2000 A·soatli 2 ta akkumulyatorlarning zaryadsizlanish jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial o'zgarishi

Qo'rg'oshin-kislotali AB zaryadlanishidagi matematik modelini keltiramiz:

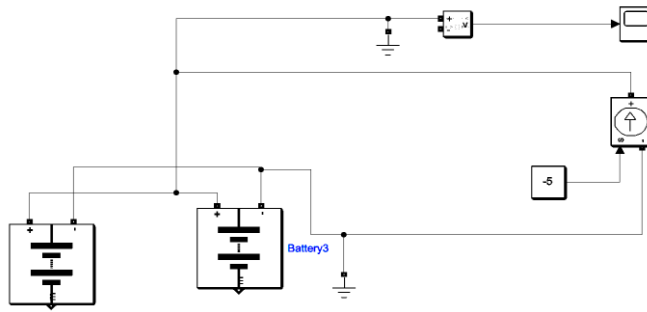
$$f1(it, i^*, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q + 0.1it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q + 0.1it} \cdot i + Laplace^{-1}\left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}, \frac{1}{s}\right); \quad (3)$$

bu yerda:

E_0 – o'zgarmas kuchlanish (V); $Exp(s)$ – eksponensial dinamik hududi; $Sel(s)$ – batareya rejimi ko'rsatadi $Sel(s) = 0$ bunda batareya zaryadsizlanadi; $Sel(s) = 1$ zaryadlanish akumulyator vaqtida; K – qutblanish doimiysi (Ach-1) yoki qutblanish qarshiligi (Om); i^* – past chastotadagi joriy tok (A); i – batareya toki (A); it – to'lgan sig'im (A·soat); Q – batareyaning maksimal sig'imi (A·soat).

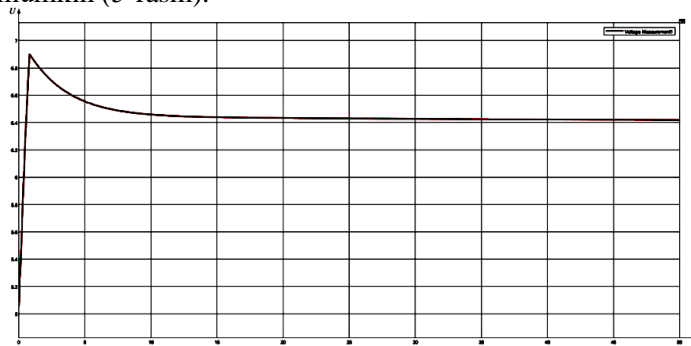
Yuqorida keltirilgan matematik modeldan ko'rinib turibdiki qo'rg'oshin kislotali AKB zaryadlanish jarayoni eksponensial qonunga bo'ysunadi. Bunda boshlang'ich holatda tezlik bilan zaryad oladi va keyin zaryadlanish jarayoni sekinlasha boradi.

AKB turli xil kuchlanishda bo'lgan ularning bitta manbadan zaryadlashda ularga nosimmetrik kuchlanish hosil bo'ladi buning oqibatida zaryadlanish jarayonining boshlanishida AKB o'zining nominal qiymatida zaryadlanmaydi ya'ni zaryadlanish muvozanati buziladi. Bu jarayonni tekshirish uchun quyidagi sxemani (4-rasm) yig'ib har xil kuchlanishli batareyalarni ulab uning zaryadlanish jarayonidagi kuchlanish o'zgarishini kuzatamiz.



4-rasm. Parallel ulangan har xil kuchlanishli AKB batareyalarini ulanish sxemasi

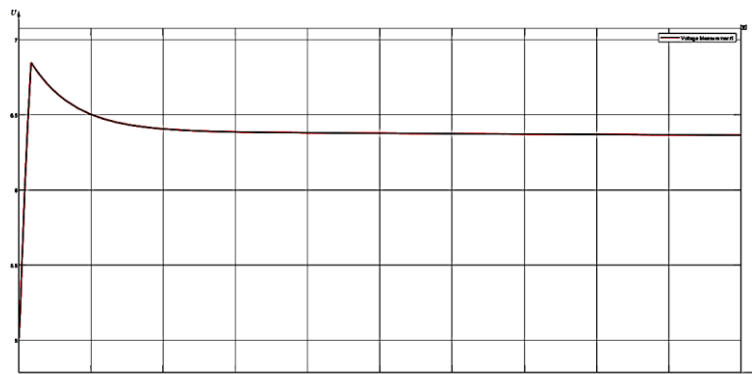
Qurilgan sxema orqali Simulinkda olingan natijada uning kuchlanishning sakrash jarayonini ko'rish mumkin (5-rasm).



5-rasm. Nominal kuchlanishi 2 V va 2.2 V, sig'imi 5.4 A·soat bo'lgan qo'rg'oshin kislotali akkumulyator batareyalarini zaryadlanish jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial bo'lmagan o'zgarishi

Turli hil paramtrli 2 ta akkumulyator batareyasining zaryadsizlanish kuchlanishining vaqtga bog'liqligi 3-rasmda keltirilgan.

Olingan natijalardan ko'rinib turibdiki har xil kuchlanishli AKB larni zaryadlashda matematik model simmetrik hoatda ishlay olmaydi va oldingi ishlab chiqilgan matematik model ishlamaydi. Shuning uchun bu matematik modelni muvozanatda bo'lmaydigan AKBlari uchun takomillashtirish zaruratini paydo qiladi. AKBlarni har xil kuchlanishda zaryadlash jarayoni uchun matematik modelni eksponensial va o'tkinchi jarayon qonunlariga bo'ysunadi.



6 – rasm. Nominal kuchlanishi 2 V va 2.2 V, sig‘imi 5.4 A·soat bo‘lgan qo‘rg‘oshin kislotali akkumulyator batareyalarini zaryadlanish jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial bo‘lmagan o‘zgarishi

$$f1(i,t) = E_0 - K \cdot \frac{Q_{\max}}{Q_{\max} + Q_1} \cdot (Q_1 + i \cdot t) - R \cdot i + A_1 \cdot \exp\left(-\frac{5}{Q_{\max}} \cdot Q_1\right); \quad (4)$$

bu yerda:

A_1 – Eksponensial kuchlanish (V); B – Eksponensial sig‘im ($A \cdot soat$).

Zaryadlanish jarayonida AKB larning eskirishi, sikllar sonining oshishi bilan ZD (zaryadlanish darajasi) pasaya boradi. Shuningdek ZCHK (zaryadsizlanish chuqurligi ko‘rsatkichi) zaryadsizlanish chuqurligi ko‘rsatkichining tezda o‘sib borishiga sabab bo‘ladi. Ko‘pgina holatlarda bir nechta akkumulyatorli batareyalar majmuasi bitta manba‘dan zaryadlanishi ularning yagona zaryadsizlanishi manbaasiga egaligi ularning alohida akkumulyatorlardagi ZD va ZCHK chuqurligi o‘zgarishi bir xil bo‘lmaydi. Buning natijasida ularning zaryadlanish kuchlanishi o‘zgara boradi va bu farq 10 % gacha tashkil etsa ularning eskirish darajasi tezlasha boradi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki batareyaning ishlash jarayoni va asosiy yo‘nalishlari ko‘rib chiqildi. Alohida AKBlar uchun simulyatsiyalash jarayonlari ko‘p keltirilgan, ammo bir nechta AKBlar uchun bu muammo keltirib chiqaradi. Buning uchn uni Matlab Simulinkda ikkita AKB baterayalarning simmetrik zaryadlanishi va nosimmerik zaryadlanish jarayonlari ko‘rib chiqildi. Soddalashtirilgan matematik modellar yordamida bir nechta AKB lar uchun zaryadlanish parametrlarini hisoblashlarni tezlashtirish mumkin. Turli xil kuchlanishda ishlovchi AKBlarni bitta manbadan zaryadlanishi yoki zaryadsizlanishi ularning ZD darajasi va ZCHK chuqurligining pasayishiga olib keladi. Asosan bir xil kuchlanishli AKBlarga qaraganda bir-biridan kuchlanishi 10 % farq qiladigan AKBlar zaryadlanganda ularning zaryad ko‘rsatkichlari sezilarli darajada pasayishini ko‘rsatdi. Model akkumulyator batareyalaring elektrotexnik parametri kuchlanishining zaryadga bog‘liqligini istalgan vaqt uchun hisoblash imkonini beradi

Adabiyot

1. Лагутина Е.И. Математическая модель функционирования системы разогрева аккумуляторной батареи с помощью химического нагревательного элемента. // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. Вып. 4.
2. Khasan Murodov and Askarbek Karshibayev, Development of the management system of technical indications of high-power charger-discharger rectifier device. // E3S Web Conf. Volume 417, 2023 III International Conference on Geotechnology, Mining and Rational Use of Natural Resources (GEOTECH-2023).
3. Муродов Х. Ш., Каршибаев А. И., Норкулов А. О. Анализ устройств непрерывного электрического питания на Навойской тепловой станции. // Innovative developments and research in educa International scientific-online conference.
4. Shepherd, C. M. Design of Primary and Secondary Cells. Part 2. An Equation Describing Battery Discharge // C. M. Shepherd // Journal of Electrochemical Society. 1965. Vol. 112, Iss. 7. P. 657–664.
5. Фоменко Н.С. Особенности моделирования свинцово-кислотного аккумулятора / Н.С. Фоменко, А.С. Григорьев, А.С. Динисиллов // Электрохимическая энергетика. 2019. Т.19, -№ 2. -С. 81–89. <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2019-19-2-81-89>.
6. Абакумов М.И., Савченко А.В. Обзор современных средств заряда и разряда аккумуляторных батарей // (048.8).
7. Ataullayev N, Ataullayev A and Karimtoshovich S M 2021 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (UK) Journal of Physics: Conference Series, Volume 2094, Instrumentation Technology and Environmental Engineering Citation NO Ataullayev et al 2021 J.Phys.:Conf. Ser. 2094 052039 DOI 10.1088/1742-6596/2094/5/052039.
8. Simulink – моделирование и симуляция динамических систем для Simulink [Электронный ресурс] / MatLab и Simulink центр компетенций компании Mathworks. М., 2019. Режим доступа: <https://MatLab.ru/products/simulink>. Дата доступа: 10.07.2019.
9. Зализный Д.И. Модель фотоэлемента для библиотеки SimPowerSystems пакета MatLab/Simulink / Д. И. Зализный // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, -№ 2. -С. 135–145. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-2-135-145>.
10. Dobrego K.V., Vladyko Y.V. Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc. V. 64, No 1 (2021), pp. 27–39.
11. Сазанов А.Б. Математическое моделирование режимов работы аккумулятора / А.Б. Сазанов // Техника машиностроения. 2007: -№ 2. -С. 27–30.

*Navoiy davlat konchilik va texnologiyalari
universiteti tomindan taqdim etilgan*

УДК 621.314

**КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СХЕМ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ С
ОТСЕКАЮЩИМИ ВЕНТИЛЯМИ****Ш.Б. Умаров**

Мақолада кесувчи вентилли автоном ток ва кучланиш инверторларининг ишлашини сифатли таҳлил қилиш натижалари келтирилган. Инвертернинг қувват схемасидаги параллел ва кетма-кет эквивалент занжирларда коммутация конденсаторининг заряд қийматининг тиристорларнинг коммутация хусусиятларини тиклашга таъсири ўрганилди. Юкламанинг индуктив элементларида вақти-вақти билан тўпланган энергия туфайли, узилли ҳолатида коммутация конденсаторидаги кучланиш анъанавий параллел автоном ток инвертерига қараганда каттароқ эканлиги кўрсатилган. Бу ҳолат инвертернинг коммутация барқарорлигини оширишни таъминлайди ва шунинг учун кесувчи вентиллари бўлган автоном ток инвертерининг схемаси ўзгарувчан частотали электр юритмаларда барқарор ишлайди ва кескин юклама кўтарилиши ва қисқа туташувларда ишлайди, чунки коммутация конденсаторидаги кучланиш қиймати юкламадаги кучланиш қийматига боғлиқ бўлмайди ва натижада коммутация конденсаторидаги заряд куч схемасининг тиристорларини алмаштириши орасида юкланиш кучланиши кескин пасайганида ҳам ўзгармайди.

Калит сўзлар: автоном ток инвертери, юкламанинг индуктив элементи, вентилли частота ўзгартгичи, частотали ростланувчи электр юритма.

В статье приводятся результаты проведенного качественного анализа схем автономных инверторов тока и напряжения с отсекающими вентилями, исследовано влияние величины заряда коммутирующего конденсатора при параллельной и последовательной схемах замещения на восстановление коммутирующих свойств тиристорной силовой схемы инвертора. Показано, что за счёт энергии периодически накапливаемой в индуктивных элементах нагрузки, напряжение на коммутирующем конденсаторе в отсеченном состоянии больше, чем в обычном параллельном автономном инверторе тока. Это обстоятельство обеспечивает повышение коммутационной устойчивости инвертора и поэтому схема автономного инвертора тока с отсекающими вентилями работоспособна в вентильных преобразователях для частотно-регулируемого электропривода, сохраняет работоспособность при внезапных набросах нагрузки и к.з, так как величина напряжения на коммутирующем конденсаторе не зависит от величины напряжения нагрузки, т.е. заряд на коммутирующем конденсаторе сохраняется и при резком уменьшении напряжения нагрузки между переключениями тиристорной силовой схемы.

Ключевые слова: автономный инвертор тока, индуктивный элемент нагрузки, вентильный преобразователь частоты, частотно-регулируемый электропривод.

The article presents the results of a qualitative analysis of circuits of autonomous current and voltage inverters with cut-off valves; the influence of the charge value of the switching capacitor in parallel and series equivalent circuits on the restoration of the switching properties of the thyristors of the inverter power circuit is studied. It is shown that due to the energy periodically accumulated in the inductive elements of the load, the voltage on the switching capacitor in the cut-off state is greater than in a conventional parallel autonomous current inverter. This circumstance ensures an increase in the switching stability of the inverter and therefore the circuit of an autonomous current inverter with cut-off valves is operational in valve converters for variable-frequency electric drives and remains operational during sudden load surges and short circuits, since the voltage value on the switching capacitor does not depend on the load voltage value those. the charge on the switching capacitor is maintained even when the load voltage sharply decreases between switching the thyristors of the power circuit.

Key words: autonomous current inverter, inductive load element, valve frequency converter, variable frequency electric drive.

Как известно в квазиустановившемся режиме конденсаторы силовой схемы автономного инвертора тока (АИТ) являются единственными источниками энергии для компенсации реактивной мощности нагрузки и восстановления запирающих свойств тиристоров, т.е. имеет место баланс реактивной энергии [1-3]:

$$Q_c = Q_n + Q_\delta; \quad (1)$$

где: Q_δ - реактивная мощность на восстановление вентиля;

Q_n - реактивная мощность нагрузки.

Как видно из рис. 1. и 2 напряжение на конденсаторах в схеме автономного инвертора тока (АИТ) без отсекающих вентилях (ОВ) имеет форму близкую к синусоиде, а в схемах с ОВ – близкую к трапеции. Фронт трапеции тем меньше, чем меньше емкость конденсаторов, т.е. с уменьшением величины емкости напряжение на нагрузке обогащается высшими гармониками. Образование дополнительных высших гармоник в кривой выходного напряжения схем с ОВ влияет на перераспределение энергии Q_c между Q_n и Q_δ таким образом, что Q_n увеличивается, а Q_c уменьшается [4,5].

Пусть в момент $t = 0$ ток проходил через $L_d - T_1 - D_1 - Z_{(p)} - D_4 - T_4$ и на конденсаторах имелось напряжение U_{co} . В момент $t = 0$ включаются от системы управления T_3, T_2 . Под действием обратного напряжения величиной U_{co} мгновенно запираются T_1, T_4 , но диоды D_2, D_3 не включаются. Происходит это потому, что всегда в схемах с ОВ имеем $|U_{co}| > |U_n(0)|$ и очередная пара отсекающих диодов может открыться только после ликвидации этого неравенства в результате разряда конденсаторов.

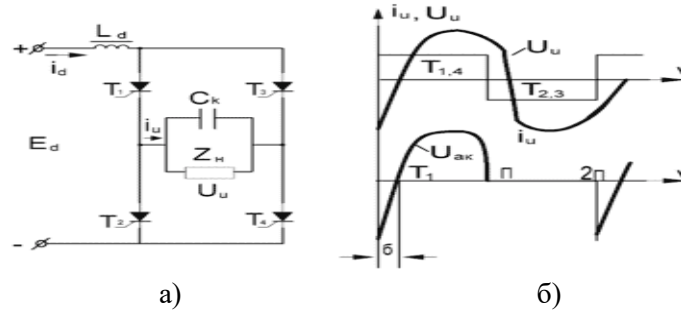


Рис. 1. Схема (а) и временные диаграммы (б) однофазного АИТ

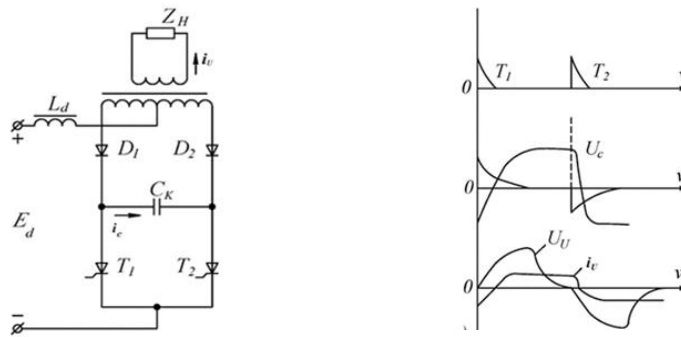


Рис. 2. Схема (а) и временные диаграммы (б) однофазного АИТ с ОВ

Рассмотрим более подробно работу АИТ с ОВ в квазиустановившемся режиме на примере однофазной мостовой схемы (рис.1) [5-7].

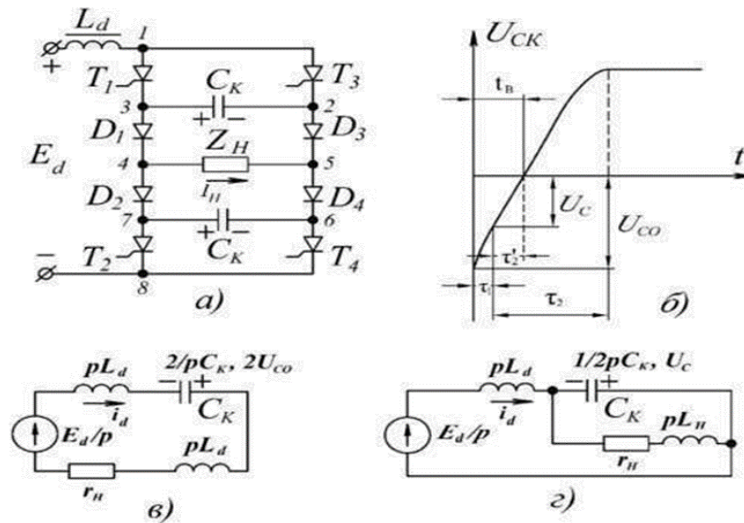


Рис. 3. АИТ с ОВ: схема (а); временная диаграмма напряжения конденсатора (б); схемы замещения (в,г)

Разряд происходит по контуру (цифрами): 1-2-3-4-5-6-7-8 и ему соответствует схема замещения (рис. 3, в) в виде последовательного LC – контура. В момент $t = \tau_1$ имеем:

$$U_c(\tau_1) = U_H(\tau_1).$$

При этом открываются диоды D_2, D_3 и на интервале τ_2 ток в нагрузке и напряжение на конденсаторах изменяют знак. В момент $t_B = \tau_1 + \tau_2'$ когда напряжение $U_c(t) = 0$, интервал восстановления запирающих свойств T_1, T_4 завершается.

Рассмотрим влияние заряда C_k при параллельной и последовательной схемах замещения на интервал t_B и установление напряжения U_{c0} . Для этого вместо диодов $D_1 \div D_4$ устанавливаются отсекающие тиристоры (ОТ) $T_1' \div T_4'$, и используется возможность задерживать подачу импульсов управления на T_2', T_3' относительно момента $t = 0$ и устанавливать интервал существования первой схемы замещения (τ_{11}) в пределах необходимой величины, например:

$$\tau_1 < \tau_{11} < (\tau_1 + \tau_2). \quad (2)$$

Для случая замены отсекающих диодов на тиристоры при упрощающем предположении $i_d(t) = I_d = const$ для однофазного АИТ с отсекающими тиристорами можно получить следующую систему расчетных выражений:

$$\left. \begin{aligned} U'_{11} &= r_H I_d \\ \tau_2 &= \frac{\left[\pi - \arctg \left(\frac{\Omega_1}{\delta_1} \right) \right]}{\Omega_1} \\ U_{11} &= r_H I_d + \frac{[2\Omega_1 L_H I_d \cdot \exp(-\delta_1 \tau_2)]}{\sin \Omega_1 \tau_2} \tau_1 = C \left(\frac{U_{11}}{I_d - r_H} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \frac{r_H}{2L_H}; \quad \Omega_1 = \left[\frac{1}{(2L_H C) - \delta_1^2} \right]^{\frac{1}{2}} \\ U_{11} &= |U_{c0}| = |u_c(\tau_1 + \tau_2)| \\ U'_{11} &= u_c(\tau_1) = u_H(\tau_1) = u_H(0) \end{aligned}$$

Здесь τ_1 - характеризуется как момент перехода от последовательной к параллельной схеме перезаряда коммутирующего конденсатора C_k .

Предположим, включение отсекающих тиристоров задержано относительно момента $t = 0$ до получения $u_c(\tau_{11}) = 0$. Тогда на интервале τ_{11} действует последовательная схема замещения перезаряда C_k . Если для параллельной схемы ввести интервал τ_{21} , то можно написать неравенство:

$$\tau_{11} + \tau_{21} \neq \tau_1 + \tau_2.$$

При приведенных предположений система расчетных соотношений для АИТ с отсекающими тиристорами имеет вид:

$$\left. \begin{aligned}
 U_{11}^1 &= 0, \\
 \tau_{21} &= \frac{n}{2\omega_1}, \\
 U_{11} &= r_H I_d + 2\Omega_1 L_H I_d * \exp(-\beta_1 \tau_{21}), \\
 \tau_{11} &= C * U_{11} / I_d.
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В схеме с отсекающими тиристорами $t_{B1} = \tau_{11}$, а в схеме с отсекающими диодами: $t_B = \tau_1 + \tau_2'$. Очевидно, в последнем случае необходимо иметь выражение $U_c(t)$ на интервале перезаряда в параллельном контуре и тогда значение τ_2' находится из решения уравнения:

$$U_c(\tau_2') = 0. \quad (5)$$

Таким образом в схемах АИТ с ОВ можно отметить следующие особенности:

а) за счёт энергии периодически накапливаемой в индуктивных элементах нагрузки и L_d напряжение на C_k в отсеченном состоянии больше, чем в обычном параллельном АИТ в момент начала коммутации;

б) форма напряжения на C_k и на нагрузке неодинакова, $U_c(t) \neq U_H(t)$. В частности, U_{CO} не зависит от частоты работы АИТ при её уменьшении, и поэтому схема АИТ с ОВ работоспособна в ВПЧ для частотного электропривода [8];

в) поскольку $U_c(t)$ не зависит от $U_H(t)$, заряд на C_k сохраняется и при резком уменьшении $U_H(t)$ между переключениями тиристоров, то есть при внезапных набросах нагрузки и к.з. Это свойство может быть использовано для обеспечения коммутации при перегрузках и к.з.;

г) введение отсекающих тиристоров создает возможность изменять соотношение длительностей перезаряда C_k в последовательном и параллельном контурах с нагрузкой и величину U_{CO} . Регулирование τ_{11} мало изменяет время, предоставляемое силовым тиристорам на восстановление.

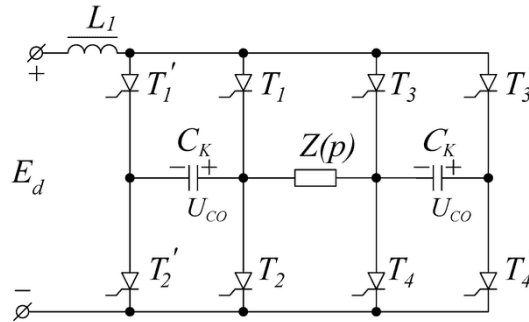


Рис. 4. Схема однофазного АИТ с ДК

Схемы АИТ с ОТ на интервале коммутации состоят как бы из двух независимых схем: подключения C_k и подключения нагрузки. Однако, полная независимость схем подключения C_k и нагрузки достигается только в схеме АИТ с ДК, в которых через коммутирующую цепь (C_k плюс тиристор) протекает только импульс тока перезаряда C_k . Однофазный вариант АИТ с ДК на рис. 4 имеет те же

схемы замещения на полупериоде, что и АИТ с ОД на рис. 3 и то же время существования этих схем замещения, что и АИТ с ОТ при условии, что τ_{11} – задержка включения очередного силового тиристора по отношению к моменту включения предыдущего коммутирующего тиристора.

Компенсация реактивности нагрузки в АИН осуществляется за счёт вентилях реактивного тока и емкости фильтра C_{Φ} , подключенного к источнику питания E_d или за счёт междупазовых взаимодействий. Ниже показано, что отделение L_K, C_K цепи возможно в однофазном АИН только при наличии ОВ.

Рассмотрим работу однофазной мостовой схемы АИН с ОВ (рис. 5).

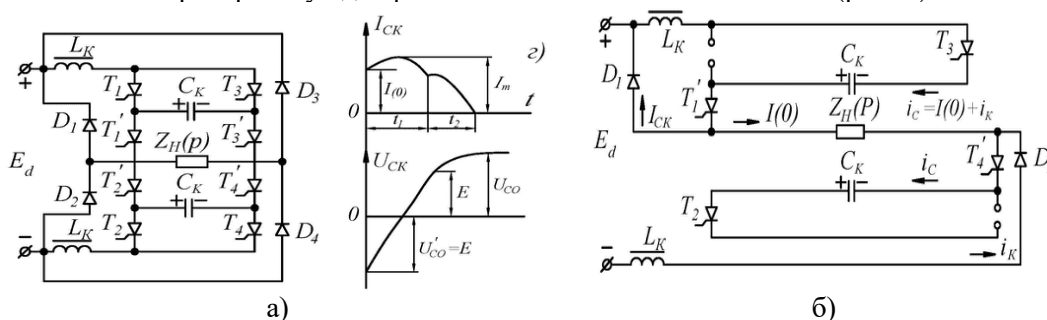


Рис. 5. Схема однофазной мостовой АИН с ОВ: а) схема; б) контур коммутации через D_1, D_k ; в) контур коммутации через D_2, D_3 ; г) временные диаграммы

Пусть все элементы идеальны; перед очередным включением пары T_3, T_2 имеется $U_{co}^1 = E_d$; нагрузка – активно – индуктивная с большой постоянной времени. Тогда после включения T_3, T_2 образуются контуры колебательного перезаряда C_K , полностью эквивалентные контурам при двухступенчатой коммутации в АИН (рис.5, б). Перезаряд колебательный и поэтому на (рис.5, з) ток перезаряда i_{CK} имеет форму купола над начальным значением тока нагрузки $i(0)$. С момента t_1 ток C_K недостаточен для питания нагрузки и ток нагрузки стремится замкнуться через D_3, D_2 и источник (рис. 5, в), а напряжение U_H меняет скачком полярность.

В схеме замещения (рис. 5, в) конденсаторы C_K от $U_c(t_1) = E_d$ дозаряжаются на интервале t_2 до $U_{co} = E_d + i(0)\sqrt{L_K}/C_K$ за счёт энергии запасенной к моменту $t = t_1$ в индуктивности L_K . Далее можно включать тиристоры T_3^1, T_2^1 в момент спада тока i_H к нулю или при $t > t_1$ широким импульсом, как и в обычных АИН. Повторяющиеся переключения в рассматриваемой схеме, как видно, приведут к росту U_{co} , которое ограничивается только естественными или искусственно введенными в схему потерями.

Закключение. Отсекающие диоды позволяют сохранить $U_{co} = E_d$ от конца любой коммутации до начала следующей и обеспечить работу на перегрузку, если она была учтена при расчете C_K с $U_{co} = E_d$. В частности, такой подход успешно

применим при наличии фильтров Φ_{\sim} , которые при к.з. нагрузки имеют входное сопротивление не равное нулю.

Применение ОВ в АИТ и АИН позволяет сохранить между коммутациями на C_{κ} наибольшее появляющееся на нем напряжение, сделав $U_c(t)$ независимым от $U_H(t)$. Вытекающие отсюда полезные свойства ОД и ОТ одинаково используются как в АИТ, так и в АИН. Они были перечислены при рассмотрении ОВ в АИТ. Однако существует свойство схем с ОД, принадлежащие только АИТ: это неравенство $U_{co} > E_d$, усиливающееся с ростом тока нагрузки и обусловленное передачей энергии в C_{κ} от L_H и L_d на интервале коммутации. В результате АИТ с ОД и ОТ обладают способностью сохранять устойчивость коммутации с ростом тока нагрузки. Аналогичными свойствами обладают АИН с ОТ и схемы АИН с ДК.

Литература

1. Волков А.В. Косенко А.И. Исследование энергетических показателей асинхронного электропривода на основе автономного инвертора тока // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К: /Техніка/. 2011. – №(03) 79. – С. 40 – 41.
2. Khuinud Sapaev, Shukhrat Umarov, Murakam Mirsaidov, Abduvaxid Ruzmatov. Ensuring Design Reliability of Three Phase Parallel Inverter with Cut-off Valves by Improving the Efficiency of its Mathematical Modeling. AIP Conference Proceedings 2552, 040010 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0111343>
3. 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.
4. Лазарев Г. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода //Новости электротехники, 2019, №5(119). – С.1 – 15.
5. 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.
6. Томашевский Д.Н. Автономные инверторы. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 120 с.
7. 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.
8. Shukhrat Umarov. Dependence of Current Inverter Critical Frequencies on its Load Parameters, 2023 International Russian Smart Industry Conference (Smart Industry Con) | 978-1-6654-6429-1/23/\$31.00 ©2023 IEEE.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 679.7

**ЕДИНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
ВОЛОЧЕНИЯ, КАК ЧАСТЬ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

В.П. Иванова, В.В. Цыпкина, Д.Н. Исамухамедов, А.У. Турабеков

Мақолада чизма машинасининг ишончлилик даражасини ошириш учун кабел ва симли маҳсулотларнинг ўтказувчан ядроларини ишлаб чиқаришида сим тортишининг технологик жараёнига интеллектуаллаштирилган тизимни жорий этиш масалалари муҳокама қилинади. Симларни чизиш жараёнини ўрганиш асосида иш қисмини босқичма-босқич чизиш жараёни ўрганилди. Чизма жараёнини бутун технология сифатида босқичма-босқич таҳлил қилиш методологияси тақдим этилган. Чизма машинаси ва тавланадиган шкафнинг юқори энергия интензивлигини ҳисобга олган ҳолда технологияни рақамли ўзгартириш масалалари кўриб чиқилади: чизма машинасининг параметрлари, технологик жараёнга қўйиладиган талаблар, симнинг дизайн параметрлари ва материал хусусиятлари. Янги чизма линияларига хизмат кўрсатиш ва техник хизмат кўрсатувчи ходимларнинг малака даражасининг ишлаб чиқариш кўрсаткичларига таъсири ва ишлаб чиқарилган кабел маҳсулотларининг юқори даражадаги ишончилигини таъминлаш масалалари ёритилган.

Калим сўзлар: рақамли трансформация, чизма, ақлли бошқарув тизими, чизманинг технологик жараёни учун ягона бошқарув тизими, операцион ишончлилик, чизма машинаси, ишончлилик, рақамли трансформация, кабел ишлаб чиқариш, кабел ва сим маҳсулотлари.

В статье рассматриваются вопросы внедрения интеллектуализированной системы в технологический процесс волочения проволоки при производстве токопроводящей жилы кабельно-проводниковой продукции с целью повышения уровня надежности работы волочильной машины. На основании изучения процесса волочения проволоки исследован процесс поэтапной вытяжки заготовки. Приведена методика пошагового анализа процесса волочения как технологии в целом. Рассмотрены вопросы цифровой трансформации технологии с учетом высокой энергоемкости волочильной машины и шкафа отжига: параметров волочильной машины, требований к технологическому процессу, конструктивных параметров проволоки и свойств материала. Освещены вопросы обслуживания новых волочильных линий и влияние уровня квалификации обслуживающего персонала на производственные показатели и обеспечение высокой степени надежности выпускаемой кабельной продукции.

Ключевые слова: цифровая трансформация, волочение, интеллектуальная система управления, единая система управления технологическим процессом волочения, эксплуатационная надежность, волочильная машина, надежность,

цифровая трансформация, кабельное производство, кабельно-проводниковая продукция.

The article discusses the issues of introducing an intellectualized system into the technological process of wire drawing in the production of conductive cores of cable and wire products in order to increase the level of reliability of the drawing machine. Based on the study of the wire drawing process, the process of step-by-step drawing of the workpiece was investigated. A methodology for step-by-step analysis of the drawing process as a technology as a whole is presented. The issues of digital transformation of technology are considered, taking into account the high energy intensity of the drawing machine and annealing cabinet: parameters of the drawing machine, requirements for the technological process, design parameters of the wire and material properties. The issues of servicing new drawing lines and the influence of the qualification level of maintenance personnel on production performance and ensuring a high degree of reliability of manufactured cable products are covered.

Keywords: *digital transformation, drawing, intelligent control system, unified control system for the technological process of drawing, operational reliability, drawing machine, reliability, digital transformation, cable production, cable and wire products.*

Высокая эффективность работы волочильного оборудования в технологии изготовления кабельной продукции обеспечивает хорошие экономические показатели всего производственного процесса, так как качество проволоки лежит в основе высоких эксплуатационных параметров всего производственного процесса изготовления кабельно-проводниковой продукции (КПП). Однако, большинство волочильных машин (ВМ) установленных на кабельных предприятиях имеют большой физический и моральный износ, что негативно сказывается на эффективности всей технологической цепочки изготовления КПП. На сегодняшний день, примерно 50% технологического оборудования составляют машины, имеющие срок эксплуатации с выше 15 лет, при этом длительная эксплуатация оборудования приводит к последующей замене комплектующих узлов, деталей, которые проводят в рамках планово-предупредительных, аварийных и ремонтно-восстановительных работ, что существенно снижает как технологические параметры машин, так и их производительность, за счет отсутствия необходимой элементной базы, рабочих узлов и комплектующих. Проведение текущего и экстренного ремонта оборудования лишь частично закрывают базовыми (паспортными) узлами и комплектующими, так как кабельная машина (КМ) является снятой с производства, а резервный комплект ЗиП на складе по объективным причинам отсутствует. Все эти причины объясняют низкий технический уровень технологических линий, в том числе и волочильных машин, которые не соответствуют производственным требованиям. Таким образом, реальная производственная мощность одной единицы рассматриваемого кабельного оборудования составляет лишь 50% от паспортных данных.

Повышение эффективности работы кабельного оборудования будем рассматривать на примере волочильной машины. Анализ существующих технологий,

условий производства и выпуска готовой кабельной продукции [1, 2, 3] показал, что повышение эксплуатационных параметров ВМ возможно осуществить путем ее модернизации путем внедрения модели интеллектуализации, что позволит сократить количество простоев технологического оборудования, связанных с запуском и отладкой технологии, сокращения машинного времени и количества отходов медной проволоки.

ВМ является сложной технологической единицей, которая представляет собой совместное взаимодействие различных узлов и механизмов, подчиненных автоматической системе управления (АСУ), обеспечивающей бесперебойное функционирование всех ее систем и рабочих узлов в рамках действующей нормативной документации (рис.1). Все эти параметры как технические, так и технологические можно представить как условия различного рода неопределенностей работы системы.

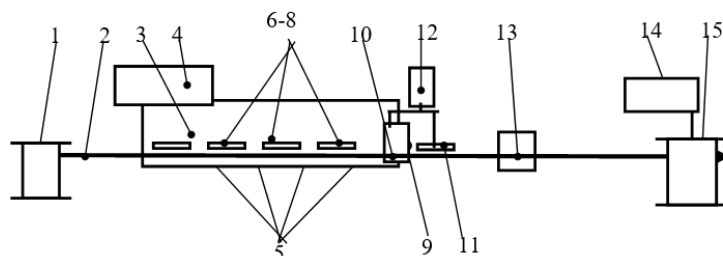


Рис.1 Схема волоочильной машины, где 1- датчик; 2 - заготовка; 3 - волоочильный стан; 4 - главный привод; 5 - система фильер; 6-8 система тянущих барабанов; 9 - датчик диаметра; 10 - блок управления; 11 - дополнительный блок; 12 - система контроля; 13 - стабилизатор натяжения; 14 - привод приемника; 15 - приемник готовой проволоки

Учитывая то факт, что каждая КМ имеет индивидуальные технические параметры, которые зависят от особенностей электромеханической системы (ЭМС) и выполняемой технологии, полученная действующая интеллектуализированная модель процесса волочения, позволит обосновать возникновение возможных технологических и технологических ситуаций, связанных с выбором и установкой новых (современных) узлов и механизмов в действующую (морально устаревшую) ВМ, влияние этих характеристик на производственные параметры.

Разработка интеллектуализированной системы основывается на результатах паспортизации и проведения анализа технологических параметров волочения, а также технических параметров оборудования, с учетом параметров шкафа отжига, как наиболее энергоемкой части оборудования (рис.2).

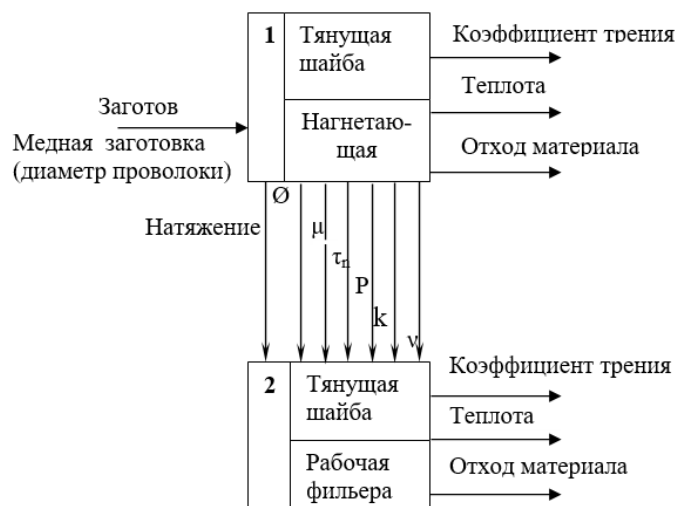


Рис.2. Параметры модели технологического процесса волочения

Решение вопроса по достижению технологических параметров, приближенных к паспортным значениям, невозможно без учета уровня согласованности работы всех узлов и механизмов входящих в ВМ и достижения максимальной сходимости переходных технологических параметров в рамках маршрута волочения, т.е. соблюдение последовательности заправки заготовки и установленного диапазона регулирования производственных показателей кабельной машины в целом [11, 12]. Проведенные расчеты по соблюдению и согласованию технологии волочения [4], технических параметров оборудования и характеристик имеющейся ремонтной базы (узлы, комплектующие, элементная база) позволили разработать реальную информационную и математическую модель – волочильной машины ВСК (СП ОАО «Андижанкабель», цех №1) для оптимального подбора вышедших из строя запасных частей, электрооборудования и комплектующих без остановки работы физического объекта (действующей технологической линии), а так же с учетом вероятных замен комплектующих с целью оптимизации режимов работы волочильного оборудования в целом.

Установка дополнительной системы позволит синхронизировать работу всех узлов и механизмов в рамках технологии волочения и обеспечить его быстроедействие и согласованность на базе централизованного управления ВМ, с функциями координации производственной службой, [2, 3, 13]. Функциональная нагрузка дополнительного блока, это единая система управления технологическим процессом волочения (ЕСУ ТПВ), которая обеспечивает и поддерживает на необходимом уровне централизованное исполнение технологии [5-10, 14, 15]. На базе ранее проведенных исследований была разработана ЕСУ ТПВ, которая позволила адаптировать работу ВМ, как интеллектуальную систему управления (ИСУ) (рис.3).

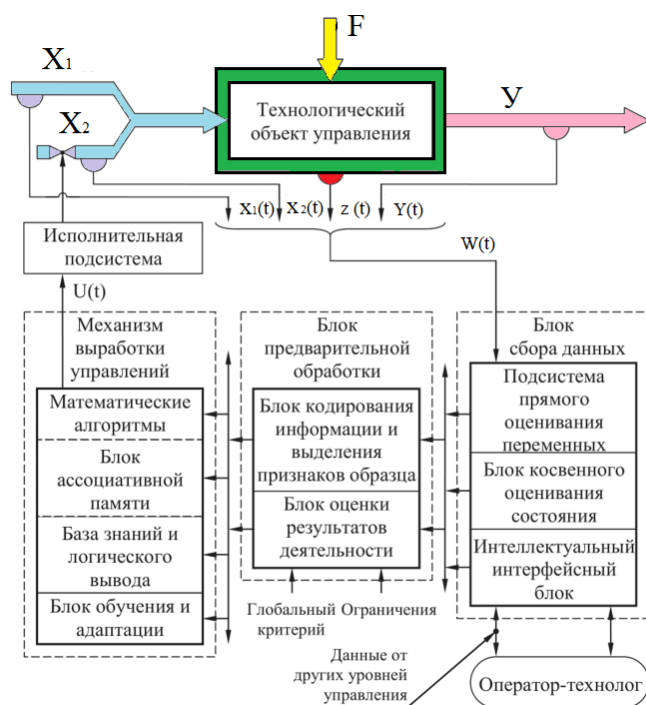


Рис.3. Структура ИСУ: X_1, X_2 – входные сигналы, определяемые параметрами и свойствами сырья и материалов, согласно конструкции кабельного изделия; F - возмущения и помехи; Y - выходной сигнал

Разработка функциональной системы ИСУ для ВМ, как же, как и для любого кабельного агрегата основывается на многослойной структуре искусственной нейронной сети (рис.4).

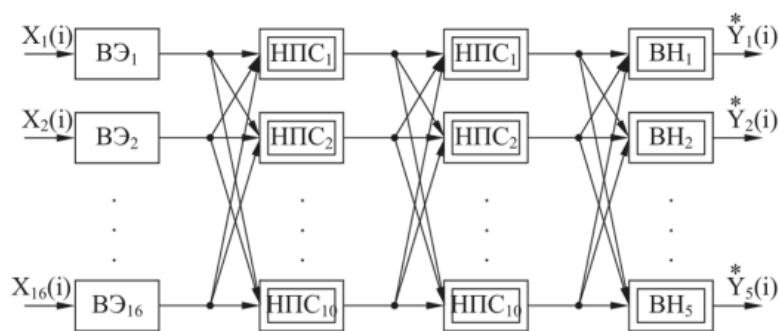


Рис.4. Функциональная структура ИСУ: ВЭ1, ВЭ16 – входные элементы (нормирующие и распределяющие преобразователи); НПС1, НПС10 -нейроны промежуточного слоя; ВН1, ВН5 – выходные нейроны

Математическое моделирование ИСУ, представляет собой модель сложной, многокомпонентной интеллектуальной системы процесса волочения:

$$X(t) = \frac{X(t) - X^{\min}}{X^{\max} - X^{\min}}; \quad (1)$$

$$Y = [1 + \exp(\sum_{m=0}^{n-1} W_{n-1}(t) [1 + \exp(\sum_{m=0}^n W_n(t) \dots [1 + \exp(\sum_{m=0}^1 W_1(t))]]))] \quad (2)$$

где, X1, X2 – входные сигналы, определяемые параметрами и свойствами сырья и материалов, согласно конструкции кабельного изделия; W – обобщенный сигнал системы; Y- выходной сигнал.

Вывод: Проведение работ по разработке ЕСУ ТПВ, как части цифровой трансформация технологического процесса производства кабельно-проводниковой продукции, позволит адаптировать ВМ имеющую большую степень износа в технологический процесс производства кабельно-проводниковой продукции. Создание систем накопления и обработки информации обеспечит решение сложных производственных задач, что обеспечит эффективную оценку динамических изменений, надежность и безопасность, а также соответствие требований производственного характера. Анализируя результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

- разработанная ИСУ построена, как информационная модель на базе технических и технологических параметров и обеспечит провести инженерные расчеты и смоделировать возможные варианты замены и установки новых современных комплектующих и ЗиП;
- ее применение обеспечит эффективное и качественное проведение технической подготовки производства и последующего ремонта оборудования;
- осуществить правильный выбор элементной базы, для закупки службой снабжения.

Литература

1. Александров Л.В., Шепелев Н.П., Моделирование - этап создания эффективных технических решений. – Москва: НПО «Поиск», 1992.
2. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижаяев С.А. Автоматизация и наладка кабельного оборудования. - Самара: ООО «ИЦ Книга», 2001. - С.175-185.
- 3.. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижаяев С.А. Электропривод и автоматизация волочильного оборудования. – Самара: ООО «ИЦ Книга», 2002. - С.63-74.
4. Технологии искусственного интеллекта для автоматизации промышленного производства: обзор и перспективы © Copyright 2015 - 2050 RPC INTEGRAL Ltd., 2022. <https://integral-russia.ru/2022/08/26/tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-dlya-avtomatizatsii-promyshlennogo-proizvodstva-obzor-i-perspektivy>.
5. Пупков К.А. Интеллектуальные системы / К.А. Пупков, В.Г. Коньков -М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 348 с.

6. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.3: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егупова - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 748 с.
7. Hangos K.M. Intelligent control systems: an introduction with examples / К.М. Hangos, R. Lakner, M. Gerzson - New York: Kluwer academic publishers, 2001. - 301 p.
8. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы / Д.В. Гаскаров - М: Высш. шк., 2003. - 431 с.
9. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных системы / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский - СПб.: Питер, 2001. - 384 с.
10. Башмаков А.И. Интеллектуальные информационные технологии: Учебное пособие / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 304 с.
11. V. Tsyapkina, V.Ivanova, Modeling of a resource-saving method of drawing. E3S Web of Conferences 139, 01073, январь 2020 г. Сеть конференций E3S 216 (1): 01152, DOI: 10.1051/e3sconf/202021601152, Лицензия, СС BY 4.0.
12. Madrakhimov, D., Ivanova, V., & Tsyapkina, V. (2020). Improving the reliability of cable lines operation in hot climates. E3S Web of Conferences.
13. Иванова В.П., Цыпкина В.В., Турабеков А.У., Бокижонов У.А., Атажиев Ш.М. Повышение надежности работы кабельно-проводниковой продукции путем усовершенствования технологии наложения изоляции // Universum: технические науки. 2020. №11-5 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-nadezhnosti-raboty-kabelno-provodnikovoy-produktsii-putem-usovershenstvovaniya-tehnologii-nalozheniya-izolyatsii> (дата обращения: 19.06.2023).
14. Sh. B. Umarov, D. D. Rakhmatov. Calculation of transition processes in stabilized power sources on the basis of a single-phase serial current inverter. MIP: Engineering-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062032 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/862/6/062032.
15. Shukhrat Umarov. Modeling Method for Autonomous Current Inverters. 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)/978-1-6654-7095-7/22/\$31.00 ©2022 IEEE/doi: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988596.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311.721

ТИРИСТОРНЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЦЕПЬЮ УПРАВЛЕНИЯ**Э.Г. Усманов**

Мақолада кувват тиристорларининг ҳолатини бошқаришининг соддалаштирилган схемаси билан бевосита уланишга эга тиристорли частота узгартиргичларни ишлаб чиқиш масаласи куриб чикилади. Яримутказгичли технологиясининг ривожланиши кучланиш стабилизаторлари, ток стабилизаторлари, инвекторлар ва частота узгартиргичларни каби тиристор курилмадарининг турли хил ишланмаларига олиб келди. Энергияни кўп истеъмол қилувчи истеъмолчиларни энергия билан таъминлаш учун бевосита уланишга эга кувватли частота узгартиргичларни яратиш, шунингдек, оммавий қурилмаларни яратишида, масалан, электр транспорт воситаларининг аккумуляторларини зарядлаш ва ҳоказоларни тўғрилаш мосламаларини яратишга бўлган эҳтиёж ортиб бормоқда. Соддалаштирилган бошқарув схемасига эга янги тиристор частотали узгартиргичлар ва удар асосида тўғрилагич курилмаларини яратиш долзарблигича қолади. Тиристор частотали кўпайтиргичларни бошқариш тизимида ферромагнит элементлардан фойдаланишининг энг оддий усули - бу пасайтирувчи трансформаторлардан фойдаланиш, уларнинг бирламчи чулгаилари уч фазали занжирга олиб келадиган бошқариладиган тиристорга нисбатан кулланиладиган кучланиш маълум бир табиий бурчагига утказилган кувват манбаи томонидан кувватланади. Куч тиристорларининг бундай уланиши бевосита уланишли частотани уч фазали - бир фазали тиристор учланигични олиш имконини беради.

Калит сўзлар: тиристорлар, ферромагнит элементлар, бошқарув тизими, иккиламчи кувват манбалари, частота кўпайтиргичлар.

В статье рассматривается вопрос разработки тиристорных преобразователей частоты с непосредственной связью, с упрощенной схемой управления состояниями силовых тиристоров. Развитие полупроводниковой техники привело к различным разработкам тиристорных устройств: стабилизаторов напряжения, тока, инверторов и преобразователей частоты. Возрастает необходимость создания мощных преобразователей частоты с непосредственной связью для питания энергоёмких потребителей, а также для создания выпрямительных устройств, например, подзарядка аккумуляторов электромобилей и т.п. Поэтому вопросы разработки новых тиристорных преобразователей частоты с упрощенной схемой их управления и создания на их базе выпрямительных устройств, остаются актуальными. Наиболее простым способом применения ферромагнитных элементов в системе управления тиристорных умножителей частоты, является использование понижающих трансформаторов, первичные обмотки которых питаются от источника питания сдвинутого на определенный

угол трехфазной цепи по отношению напряжения, приложенного к управляемому тиристор. Такое соединение управляющих элементов силовых тиристоров позволяет получить трехфазно-однофазный тиристорный утроитель частоты с непосредственной связью.

Ключевые слова: тиристоры, ферромагнитные элементы, система управления, вторичные источники питания, умножитель частоты.

The article discusses the issue of developing thyristor frequency converters with direct coupling, with a simplified circuit for controlling the states of power thyristors. The development of semiconductor technology has led to various developments of thyristor devices: voltage stabilizers, current stabilizers, inverters and frequency converters. There is an increasing need to create powerful frequency converters with direct coupling to power energy-intensive consumers, as well as to create rectifier devices when creating public devices, for example, recharging batteries of electric vehicles, etc. Therefore, the issues of developing new thyristor frequency converters with a simplified control circuit and the creation of rectifier devices based on their remain relevant. The simplest way to use ferromagnetic elements in the control system of thyristor frequency multipliers is to use step-down transformers, the primary windings of which are powered by a power source shifted to a certain natural angle of the three-phase circuit in relation to the voltage applied to the controlled thyristor. This connection of the control elements of power thyristors makes it possible to obtain a three-phase-single-phase thyristor frequency tripler with direct coupling.

Key words: thyristors, ferromagnetic elements, control system, secondary power supplies, frequency multiplier.

При решении ряда задач автоматики, радиотехники, измерительной и вычислительной техники, при разработке систем автоматического управления и регулирования, и в практике лабораторных исследований широко применяются в качестве вторичных источников питания преобразователи частоты.

Возрастает необходимость создания мощных преобразователей частоты для питания энергоёмких потребителей, а также для создания выпрямительных устройств подзарядки электромобилей. Поэтому вопросы разработки новых тиристорных преобразователей частоты с упрощенной схемой их управления остаются актуальными.

Развитие полупроводниковой техники привело к различным разработкам тиристорных устройств: стабилизаторов напряжения, тока, инверторов и преобразователей частоты. Интерес к ферромагнитным цепям, как к цепям управления состояниями тиристоров, возрос в связи с тем, что последние в схемных сочетаниях с тиристорами дают широкие возможности для решения многих технических задач.

На практике и теоретических исследованиях рассматриваются большое число силовых схем преобразователей частоты, которые разделяются на две большие

группы: на тиристорные преобразователи частоты со звеном постоянного тока и на тиристорные преобразователи частоты с непосредственной связью.

Недостатком первой группы является сложность выполнения, как силовой части, так и схем системы управления состояниями тиристоров, что приводит к уменьшению надёжности устройства в целом и его удорожанию.

Известны большое количество силовых схем преобразователей частоты с непосредственной связью, отличающихся между собой числом фаз на входе и выходе, типами вентильных групп, способами управления и способами потенциального разделения фаз нагрузки.

В известных преобразователях частоты, относящихся ко второй группе, схемы управления состояниями силовых тиристоров являются сложными, что приводит к относительному уменьшению надёжности всего устройства в целом.

В связи с вышеизложенным можно ввести следующие классификационные признаки для силовых схем тиристорных делителей частоты (ТДЧ) с непосредственной связью:

1. Число фаз на стороне питающей сети и число фаз на выходе преобразователя.

2. Число пульсаций в кривой выходного напряжения за период напряжения питающей сети при неизменном угле управления.

3. Способ соединения вентилей в группе.

4. Совместное или раздельное управление работой вентильных групп.

5. Способ потенциального разделения в преобразователях с многофазным выходом.

Питаемые от однофазной сети преобразователи, применяются при питании подвижного транспорта от контактной сети переменного тока.

Трёхфазно - однофазные и трёхфазно - трёхфазные преобразователи используются в автономных объектах, для перемешивания жидкого металла, в дуговых сталеплавильных печах и электроприводах с двигателями переменного тока.

По второму классификационному признаку преобразователи с непосредственной связью делятся на двухпульсные, трехпульсные, шестипульсные, двенадцатипульсные и т.д.

Число пульсаций в кривой выходного напряжения определяется диапазоном изменения выходной частоты преобразователя и требуемым гармоническим составом кривых выходного напряжения и первичного тока.

По третьему классификационному признаку будем различать преобразователи с нулевыми тиристорными группами, с мостовыми тиристорными группами, которые могут объединяться в многопульсных схемах с помощью уравнивающих реакторов, либо путём создания каскадных схем.

В данной статье рассматривается вопрос применения в системе управления силовых тиристоров простых ферромагнитных элементов. Использование в тиристорных преобразователях частоты ферромагнитных элементов в качестве формирующих сигналы управления состояниями тиристоров упрощает схему системы управления и увеличивает надёжность преобразователя, так как

ферромагнитные элементы просты в изготовлении и эксплуатации, не чувствительны к вибрации, долговечны и менее чувствительны к температурным перепадам, чем полупроводниковые элементы.

Наиболее простым способом применения ферромагнитных элементов в системе управления тиристорных умножителей частоты, является использование понижающих трансформаторов, первичные обмотки которых питаются от напряжения источника питания, сдвинутого на определенный угол по отношению напряжения приложенного к управляемому тиристоры. Тиристорный умножитель частоты в три раза (рис.1.) имеет силовую часть и систему управления состояниями силовых тиристоров. Силовая часть состоит из трех комплектов соединенных встречно - параллельно силовых тиристоров (I, II, III), первые общие точки которых подключаются соответственно к фазам А, В, С, а вторичные общие точки трех встречно-параллельно соединенных тиристоров, включаются в общую точку и образуют выход преобразователя. Между выходом преобразователя и нулевой фазой питающей сети включается нагрузка. Система управления состояниями силовых тиристоров состоит из трех понижающих трансформаторов (7, 8, 9) каждая из которых имеет две вторичные обмотки. Каждая вторичные обмотки понижающих трансформаторов через последовательно соединенные маломощные диоды и резисторы соединены с клеммами управления управляемых тиристоров. При этом первичные обмотки понижающих трансформаторов включаются на фазу, сдвинутую на угол 120° по отношению фазы питающей коммутируемые силовые тиристоры.

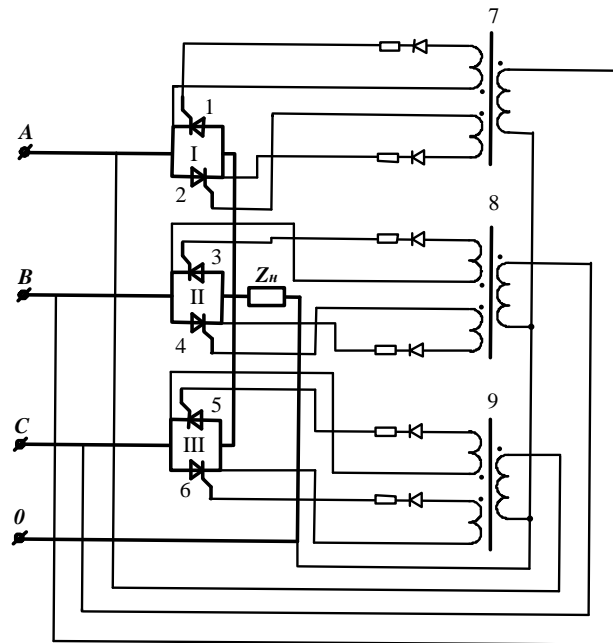


Рис. 1 Трехфазно - однофазный умножитель частоты на три

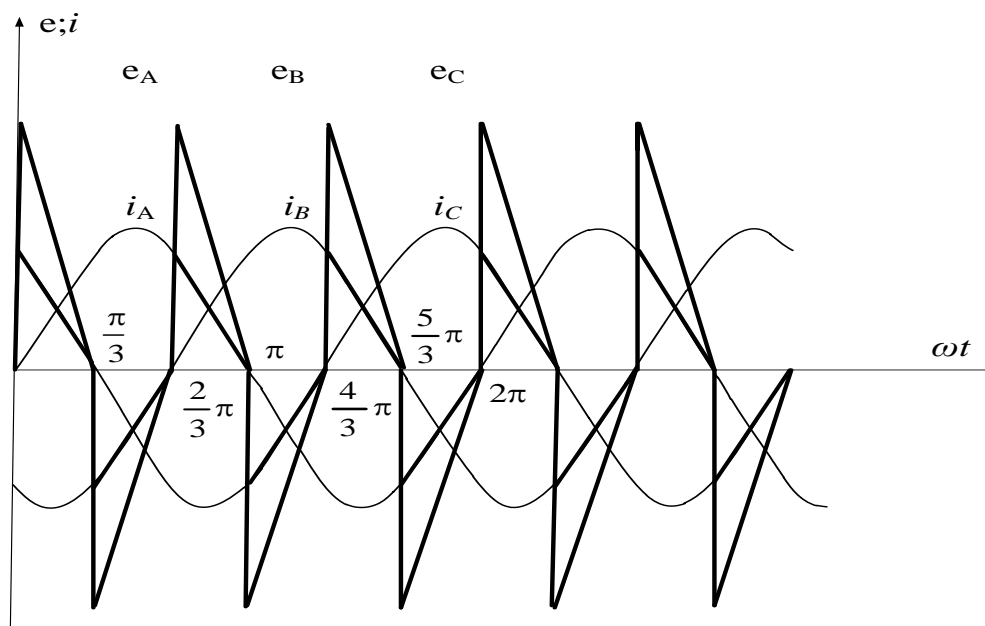


Рис.2. Формирование выходного напряжения утроителя частоты при работе его на активную нагрузку

Проанализируем работу тиристорного умножителя частоты на три при работе на активную нагрузку (рис. 2).

Рассмотрим формирование выходного напряжения за один период. В момент $t = 0$, происходит изменение полярности в фазе А, в трансформаторе 9, во вторичной обмотке, возникает импульс на открытие тиристора 6 так как напряжение фазы С сдвинуто относительно фазы А на угол $\pi/3$; питающий тиристор 6 пропустит одну треть полуволны напряжения питающей его сети. В момент $t = \pi/3$ происходит изменение в фазе С, во вторичной обмотке трансформатора 8 возникает импульс на открытие тиристора 3, который пропускает одну треть полуволны напряжения фазы В. В момент $t = (2/3)\pi$ изменяет полярность фаза В, трансформатор 7 подаёт импульс на открытие тиристора 2. В момент $t = \pi$, изменяет полярность фаза А и трансформатор 9 подаёт импульс на отпирание тиристора 5. В момент $t = (4/3)\pi$ изменяет полярность фаза С, трансформатор 8 подаёт импульс на открытие тиристора 4. В момент равный $t = (5/3)\pi$ изменяет полярность фаза В и трансформатор 7 подаёт сигнал на открытие тиристора 1.

С момента, равного 2π , повторяется вышеизложенный процесс, то есть последовательно работают тиристоры 6; 3; 2; 5; 4 и 1.

Как видно из рис. 2, выходное напряжение и ток преобразователя меняют свой знак по отношению к входному напряжению трижды за время равное 2π .

Таким образом, на базе предложенной схемы в результате применения простых ферромагнитных элементов, имеющих непосредственную связь с ведомой сетью,

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

можно создать преобразователь с умножителей частоты в 3 раза с непосредственной связью.

При этом существенным преимуществом предлагаемых устройств по отношению к существующим будет улучшение весогабаритных показателей, упрощение схемы управления, что приводит к увеличению надёжности преобразователя и увеличению КПД.

Литература

1. Бруевич А.Н. Умножители частоты, - М.: Советское радио, 2000. - 248 с., г.
2. Ризкин И.Х. Умножители и делители частоты, -М.:Связь; Издание 2-е, перераб. и доп. 2003. - 328 с.
3. Кадыров Т.М., Усманов Э.Г., Каримова М.И. 10912Р7 Преобразователь частоты. Оуб. в БИ № 17, 1984.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

ВЫБОР НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРОВ ТУРБИН И ГЕНЕРАТОРОВ ПГУ ТАХИАТАШСКОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**Т.Ф. Махмудов**

Мақолада Тахиатош ИЭСнинг буг-газ қурилмаси блокларида қўлланиладиган автоматик қўзғатиш ростлагичлари, турбина ростлагичлари ва тизим стабилизаторларининг блок-схемалари келтирилган. Ростлагичларнинг кучайтириш коэффициентларининг қийматлари глобал оптималлаштиришнинг самарали усулларидан бири бўлган заррачалар тўдаси усули асосида синтезланди. Тахиатош ИЭС буг-газ қурилмаси ростлагичларининг ташқи турткиларга нисбатан ҳаракатларини таҳлил қилиш учун DIGSilent Power Factory дастурий мажмуасида энергетика тизимининг рақамли модели яратилди, кучайтириш коэффициентларининг олинган натижаларига кўра, станция шиналарида уч фазали қисқа туташувни, шунингдек шикастланган элементларнинг узилишини ҳисобга олган ҳолда қисқа туташув тажрибасини моделлаштиришда ифодаланган норматив бузилишларни моделлаштириш ва узатиш линияни уч фазали автоматик қайта улашининг кейинги муваффақиятсиз ишлаши, шунингдек, узгичнинг ишламай қолиши захира қурилмалари бўйича тажрибалар ўтказилди. Буг-газ қурилмаси генераторларининг юклама бурчаклари ва частота бўйича катта турткилар остида ўзгаришларнинг характеристикалари олинди.

Калит сўзлар: буг-газ қурилмаси, турбиналарнинг тезлик ростлагичи, қўзғатиш ростлагичи, тизим стабилизатори, тургунлик.

В статье приведены структурные схемы автоматических регуляторов возбуждения, регуляторов турбин и системных стабилизаторов, используемых на агрегатах ПГУ Тахиаташской ТЭС. Синтезированы значения коэффициентов усиления регуляторов на основе метода роя частиц – одного из эффективных методов глобальной оптимизации. В программном комплексе DIGSilent Power Factory создана цифровая модель энергосистемы с целью анализа поведения регуляторов ПГУ Тахиаташской ТЭС на внешние возмущения. На основе полученных результатов коэффициентов усиления проведены опыты моделирования нормативных возмущений, которые выразались в моделировании трехфазного короткого замыкания на шинах станции, а также опыта короткого замыкания с учетом отключения поврежденных элементов и последующей неуспешной работы трехфазного автоматического повторного включения линии передачи, а также действия устройств резервирования отказа выключателя. Получены характеристики изменения углов нагрузок генераторов ПГУ и частоты при больших возмущениях.

Ключевые слова: парогазовая установка, регулятор скорости турбин, регулятор возбуждения, системный стабилизатор, устойчивость.

The article presents block diagrams of automatic excitation regulators, turbine regulators and system stabilizers used on the combined cycle plant units of the Takhiatash TPP. The values of the gain coefficients of the controllers are synthesized based on the particle swarm method, one of the effective methods of global optimization. A digital model of the power system was created in the DIGSilent Power Factory software package to analyze the behavior of the Takhiatash TPP combined cycle plant regulators to external disturbances. Based on the obtained results of the gain factors, experiments were carried out in modeling standard disturbances, which were expressed in modeling a three-phase short circuit on the station buses, as well as the experience of a short circuit taking into account the disconnection of damaged elements and the subsequent unsuccessful operation of a three-phase automatic reconnection of the transmission line, as well as the operation of failure backup devices switch. The characteristics of changes in load angles of combined cycle plant generators and frequencies under large disturbances are obtained.

Key words: combined cycle plant, turbine speed regulator, excitation regulator, system stabilizer, stability.

Введение. Активное строительство парогазовых установок (ПГУ) стало установившейся тенденцией по всему миру [1]. Так, по некоторым данным более половины вводимых мощностей в энергосистемы по всему миру приходится на газотурбинные (ГТУ) и ПГУ, в некоторых странах этот показатель приближается к 90%. При этом строительство газотурбинных установок обосновывается поддержанием устойчивости работы электроэнергетических систем (ЭЭС), так как при активном внедрении объектов возобновляемой энергетики, имеющих непостоянный характер генерации, остро встает вопрос поддержания баланса активной мощности [2]. К 2030 году в нашей республике планируется ввести более 4800 МВт мощности на базе солнечных и ветровых электростанций на сумму \$4,4 млрд в Самаркандской, Бухарской, Джизакской, Андижанской, Ферганской и Ташкентской областях. Также к 2030 году страна планирует довести долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистеме до 30% [3].

За последние годы в энергосистему Узбекистана были подключены ряд ПГУ: на Ташкентской ТЭС - мощностью 370 МВт, на Навойской ТЭС - мощностью 1x478+1x450 МВт, на Талимарджанской ТЭС - мощностью 2x450 МВт, на Тахиаташской ТЭС - 2x280 МВт. В период с 2013 по 2019 гг. в восточной части энергосистемы Узбекистана введена в строй новая станция – Туракурганская ТЭС, имеющая в своем составе 2 ПГУ мощностью 450 МВт. В 2022 году была начата генерация газопоршневой электростанцией в Бухарской области мощностью 270 МВт. В Ташкентской области введены в эксплуатацию две станции, имеющие в своем составе ПГУ и газопоршневые установки (ГПУ) суммарной мощностью 732 МВт [1].

Основная цель настоящей работы заключается в выборе настроечных параметров системных стабилизаторов, регуляторов возбуждения и регуляторов турбин ПГУ Тахиаташской ТЭС для гашения электромеханических колебаний.

Модели регуляторов ПГУ. Для представления характеристик газотурбинных агрегатов будем использовать модель GAST, структурная схема которой представлена на рис.1 [4-5].

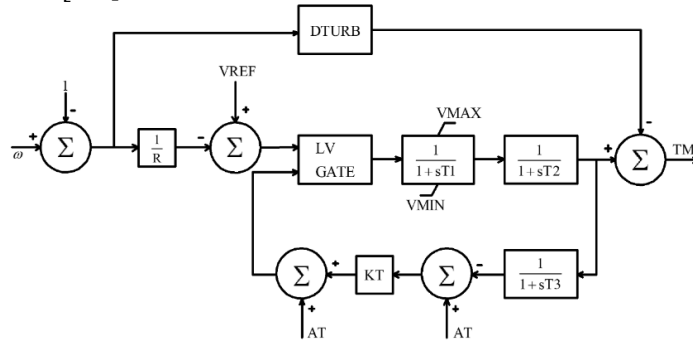


Рис.1. Структурная схема GAST

На рис.1: ω – скорость вращения турбины, R – коэффициент статизма турбины, VREF – номинальное значение мощности, T1, T2, T3 – постоянные времени турбины, AT – максимальная величина нагрузки при расчетной температуре, KT – усиление регулятора температуры, VMAX, VMIN – максимальное и минимальное значения нагрузки турбины, DTURB – коэффициент демпфирования турбины, TM – механический момент турбины. Блок LV GATE предназначен для определения минимальной величины управляющего воздействия регулятора [6].

Здесь предельная активная мощность ограничена максимальной температурой выхлопных газов.

Для отражения динамических свойств паротурбинных агрегатов, будем использовать модель IEEE1, структурная схема которой представлена на рис.2.

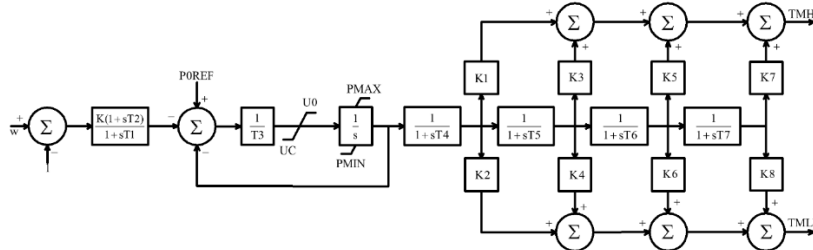


Рис.2. Структурная схема модели IEEE1

На рис. 2: ω – номинальная скорость вращения; POREF - начальный крутящий момент; TMHP, TMLP – значения момента турбин высокого и низкого давления; K - усилитель регулятора скорости; T1, T2 – постоянные времени задержки регулятора; T3 - постоянная времени сервомотора; T4 - постоянная времени впускного трубопровода/паровой камеры; T5, T6, T7 - постоянная времени, отражающие инерционность котла; K1-K8 - доли мощности на валу паровой турбины; PMAX, PMIN - максимальная и минимальная мощность турбины; U0 - максимальная

скорость открытия золотника сервомотора; UC - максимальная скорость закрытия золотника сервомотора [7].

В качестве регуляторов возбуждения на ПГУ Тахиаташской ТЭС использована модель EXST4B, схема которой приведена на рис. 3.

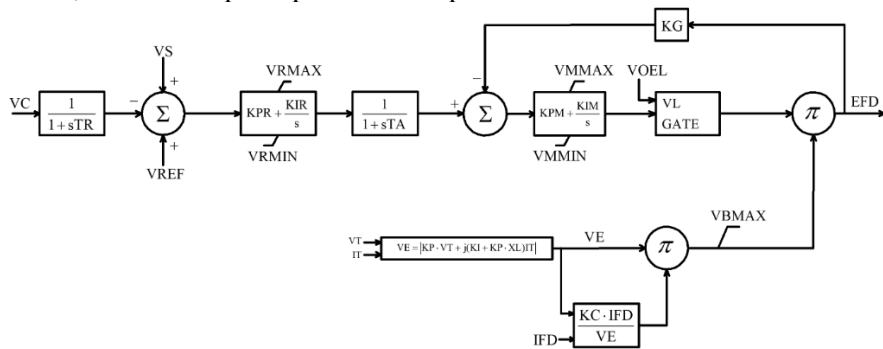


Рис.3. Структурная схема регулятора возбуждения EXST4B

На рис.3: VT и IT — действующие напряжение и ток на шинах синхронной машины; VC — отфильтрованное напряжение на шинах с компенсацией тока; $VREF$ — уставка напряжения; VS — напряжение системного стабилизатора; EFD и IFD — напряжение и ток возбуждения; V_{OEL} — потолок возбуждения; TR - постоянная времени фильтра; KPR – пропорциональное усиление регулятора напряжения; KIR – интегральное усиление регулятора напряжения; $VRMAX$ – максимальный выход регулятора напряжения; $VRMIN$ – минимальный выход регулятора напряжения; TA – постоянная времени регулятора напряжения; KPM – пропорциональный выход регулятора напряжения; KIM – выход интегрального усиления регулятора напряжения; $VMMAX$ – максимальный выход внутреннего цикла; $VMMIN$ – минимальный выход внутреннего цикла; KG – коэффициент усиления обратной связи регулятора возбуждения внутреннего контура; KP – пропорциональный коэффициент усиления цепи; KI – интегральный коэффициент усиления цепи; $VBMAX$ – потолок возбуждения; KC – коэффициент загрузки выпрямителя; XL – реактивное сопротивление, связанное с источником возбуждения [8-9].

Системный стабилизатор (PSS - power system stabilizer) представлен моделью PSS2B, ее схема показана на рис.4.

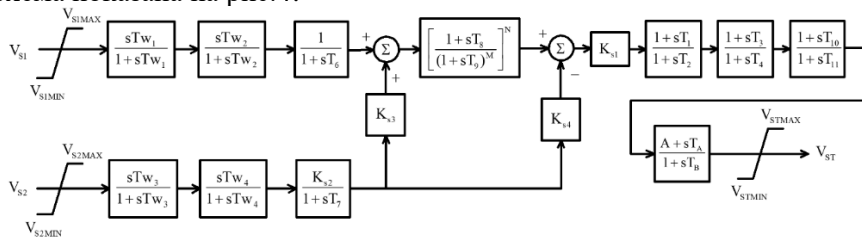


Рис.4. Структурная схема системного стабилизатора типа PSS2B

На рис.4. V_{s1} , V_{s2} – входные сигналы в качестве которых могут выступать частота вращения ротора, изменение частоты на шине, электрическая мощность генератора, напряжения на шине, изменение напряжения на шине. T_{w1} - T_{w4} , T_1 - T_4 , T_7 - T_{11} , K_{s1} - K_{s3} , N , M – коэффициенты усиления и постоянные времени системного стабилизатора [10].

Моделирование. Моделирование будем производить в пакете Simulink программы Matlab, с использованием заложенных библиотек. Выбор параметров систем управления будем осуществлять, применяя классическую схему генератор-шины бесконечной мощности отдельно для ГТУ и ПТУ. Реализованная модель представлена на рис. 5. Выбор настроечных параметров регуляторов произведен на основе метода роя частиц.

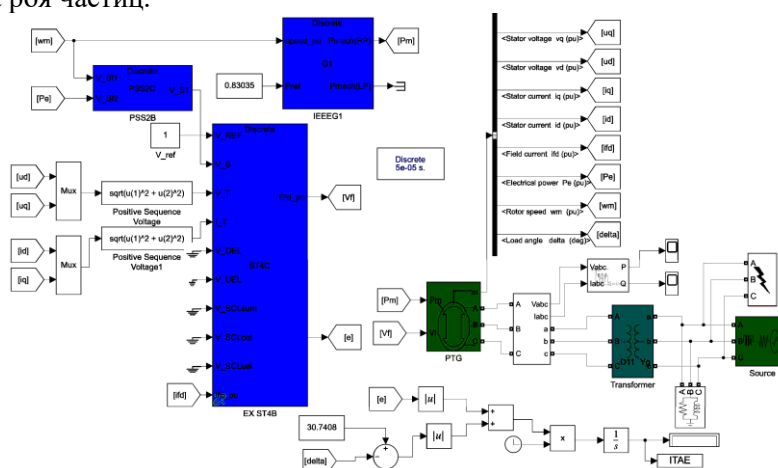


Рис.5. Схема для выбора настроек регуляторов в среде Simulink

В качестве возмущения производилось моделирование двухфазного короткого замыкания на стороне высокого напряжения силового трансформатора.

Проведем расчеты переходного режима, связанного с проверкой настроек регуляторов на нормативные возмущения. Далее приведем описание моделирования (событий) для схемы, показанной на рис.6. В нормальном режиме переток мощности по линии Хорезм-Саримай составлял 220 МВт.

Будем моделировать 2-х фазное КЗ на землю на 0,2 сек. с момента начала симуляции на середине линии подстанций Хорезм-Саримай (АС-240). С выдержкой времени в 0,2 секунды на 0,4 секунде срабатывает релейная защита и выработывает сигнал на отключение выключателей линии Хорезм-Саримай. На 1,2 секунде с начала моделирования осуществляется АПВ линии и включение выключателей линии Хорезм-Саримай. В результате включения АПВ на действующее КЗ (не удачное АПВ) происходит отключение выключателя линии Хорезм-Саримай со стороны подстанции Саримай на 1,4 сек. При этом происходит отказ выключателя со стороны подстанции Хорезм.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Для ликвидации аварии, связанной с отказом выключателя, происходит снятие напряжения с 1-й системы шин п/ст Хорезм в следующем порядке:

- отключение секционного выключателя на 1,6 секунде;
- отключение выключателя АТ (со стороны 220 кВ) на 1,6 секунде;
- отключение выключателя ЛЭП Тахиаташ – Хорезм-1 (АС-240) на 1,6 секунде.

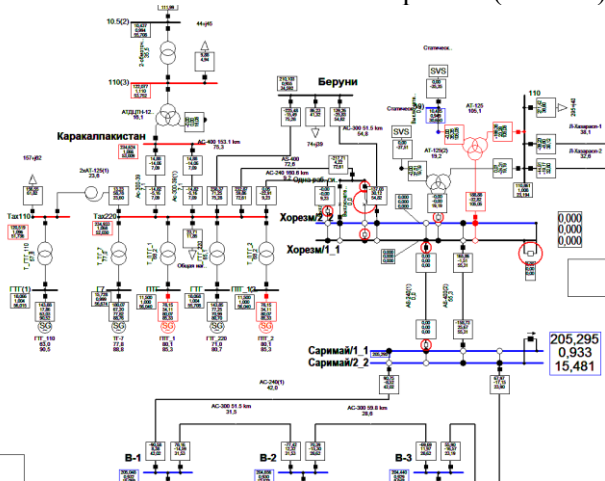


Рис.6. Моделирование Северо-Западной части ЭЭС Узбекистана при проведении нормативного возмущения

Результаты моделирования для выбранных настроек регуляторов показаны на рис.7.

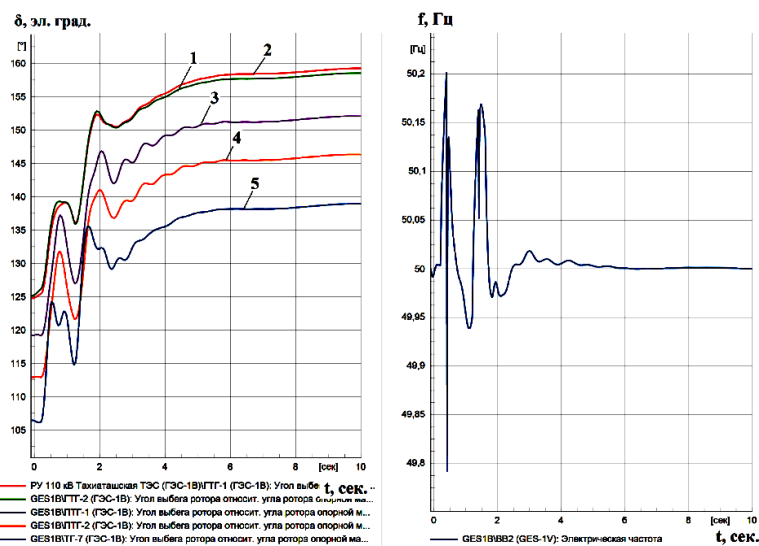


Рис. 7. Кривые изменения угла нагрузки (а) и частоты (б) в результате действия устройства резервирования отказа выключателя: 1- ГТУ на шине 220 кВ; 2- ГТУ на шине 110 кВ; 3- ПТУ; 4- ТГ-7

Для сравнения полученных результатов проведем аналогичное моделирование при базисных настройках регуляторов. На рис. 8 приведены кривые изменений угла нагрузки и частоты.

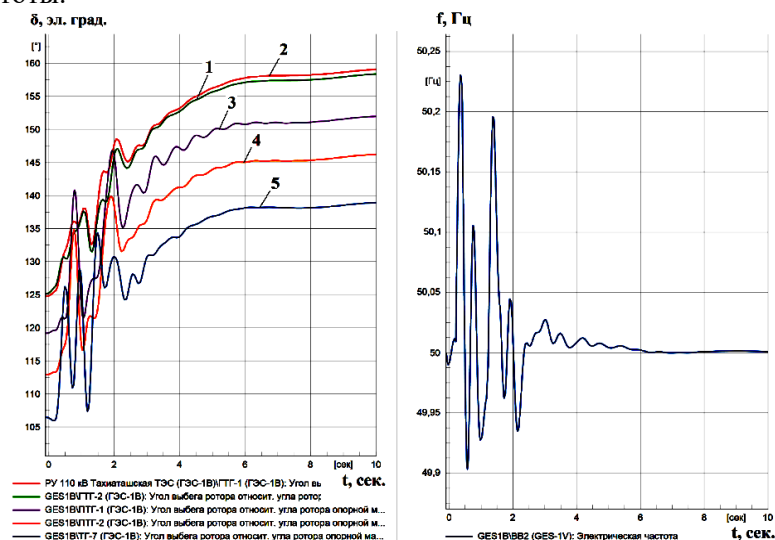


Рис. 8. Кривые изменений угла нагрузки (а) и частоты (б) в результате действия устройства резервирования отката выключателя: 1 - ГТУ на шине 220 кВ; 2 - ГТУ на шине 110 кВ; 3 - ПТУ-1; 4 - ПТУ-2; 5 - ТГ-7

Из сравнения кривых, приведенных на рис. 7 и рис. 8 ясно, что при вновь синтезированных настройках, для регуляторов ПГУ обеспечивается значительное уменьшение времени затухания колебаний в результате короткого замыкания.

Заключение. В статье осуществлено моделирование газовых и паровых агрегатов в составе парогазовых установок Тахиаташской ТЭС с установленными регуляторами турбин, регуляторами возбуждения и системными стабилизаторами.

Показано, что использование метода роя частиц в задаче определения настроечных параметров регуляторов для автоматики управления возбуждением, турбин и системных стабилизаторов целесообразно для практики диспетчерского управления и наладки силового оборудования.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. / Под общей редакцией акад. Салимова А.У. -Т.: Fan va tehnologiyalar. 2021, -953 с.
2. Misri Khanov 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.

3. Al-Saedi, Waleed & Lachowicz, S. & Habibi, D & Bass, Octavian. (2017). PSO Algorithm for an Optimal Power Controller in a Microgrid. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 73. pp.1-8. 10.1088/1755-1315/73/1/012028.
4. J.W. Simpson-Porco On Area Control Errors, Area Injection Errors, and Textbook Automatic Generation Control, in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 36, no. 1, pp. 557-560, Jan. 2021, doi: 10.1109/TPWRS.2020.3029418.
5. W. Nie, Z. Wu, C. Luo and S. Zhang A Tuning Method for PID Controller Parameters Based on Particle Swarm Optimization (PSO), 2020 Chinese Automation Congress (CAC), 2020, pp. 497-501, doi: 10.1109/CAC51589.2020.9327536.
6. 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.
7. Makhmudov, T. Influence of TCSC Control Systems on Oscillations Damping, AIP Conference Proceedings [this link is disabled](#), 2023, 2552, 040009.
8. Exciter models. Standard Dynamic Excitation Systems in NEPLAN Power System Analysis Tool.
9. Turbine-governor models. Standard Dynamic Turbine-Governor Systems in NEPLAN Power System Analysis Tool.
10. Power system stabilizer models. Standard Dynamic Power System Stabilizers in NEPLAN Power System Analysis Tool.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.314

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА В НАПРЯЖЕНИЕ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**Х.А. Саттаров**

Электр таъминоти тизимида қўлланилаётган электромагнит ток ўзгартгичлари (ЭМТЎ) берк магнит ўзгартгичларга эга бўлиб, улар бирламчи электр ток тўғрисидаги сигнални кичик аниқликда ўзгартирадилар ва уларни уч фазали электр тармоқларда қўллашда қатор муаммолар юзага келади. Ушбу мақолада электр таъминоти уч фазали электр тармоқларида қўлланилишига мўлжалланган, бирламчи ток катталиги ва фазаси тўғрисидаги ахборотни иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга электромагнит ўзгартириши ва ушбу тамойилни ўзгартгич тузилишини яратишда эътиборга олиш масалалари кўриб чиқилган.

Калит сўзлар: *электр таъминоти, уч фазали ток, электр тармоғи, магнит ўзак, иккиламчи кучланиш, электромагнит ўзгартириши, ясси ўлчов чулғам, токни ўзгартириш диапазони, ток ўтказгич, кесим юза.*

Электромагнитные преобразователи тока (ЭМПТ) содержат замкнутые магнитные системы преобразования, являющиеся источникам невысокой точности преобразования, и имеют эксплуатационные ограничения при установке их в трехфазных электрических сетях. В данной работе рассмотрены вопросы расширения эксплуатационных возможностей электромагнитных преобразователей величины и фазы первичного тока во вторичное напряжение, а также и вопросы улучшения принципов построения, применяемых при разработке этих устройств.

Ключевые слова: *электропитание, трехфазный ток, электрическая сеть, вторичное напряжение, электромагнитное преобразование, плоская измерительная обмотка, диапазон изменения тока, токопровод, сечение.*

The electromagnetic current transformers (EMCT) contain closed magnetic conversion system, which are the basis of the low accuracy of the conversion and have operational limitations when installing them in a three-phase electric networks. In this paper we will consider expanding the operational capabilities of the electromagnetic transducers magnitude and phase of the primary current in the secondary voltage and the issues of improving the principles construct used during the development of these devices.

Keywords: *power supply, three-phase electric network, the secondary voltage, electromagnetic conversion, flat measuring windings, range of primary current, conductor, cross-section.*

Во время контроля и управления процессами производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии большое значение имеют

эксплуатационные показатели средств преобразования тока, так как неадекватное управление ведёт к значительному экономическому ущербу. Разработка комплексного подхода, обеспечивающего высокую точность и эффективность комбинированного управления источниками электроэнергии, повышение их эксплуатационных возможностей, упрощение конструкции, уменьшение весогабаритных показателей, улучшение технологии изготовления, обеспечение бесконтактности измерительных процессов, преобразование тока на основе применения современных первичных измерительных преобразователей являются актуальными задачами управления электропотреблением. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение (ЭМПТН), являясь основными элементами информационно-измерительных и управляющих систем, практически полностью определяют технические и экономические показатели энергосистем [1,2].

Задачей данной работы является разработка конструкции с повышенной надёжности и улучшение эксплуатационных возможностей ЭМПТН.

Поставленная задача решается конструкцией, где магнитопровод выполняется с тремя выемками расположенных вдоль оси, из которых две крайние выемки направлены в одну сторону оси, а средняя – по другую сторону оси, при этом воздушный зазор, в котором расположены три П - образные скобы из магнитного материала, внутри которых расположены изоляционные пластинки с плоскими измерительными обмотками [3].

Выполнение магнитопровода ЭМПТН с тремя выемками, расположенными вдоль оси, из которых две крайние выемки направлены в одну сторону оси, а средняя – по другую сторону оси; при этом воздушный зазор, в котором расположены три П - образных скобы из магнитного материала, внутри которых расположены изоляционные пластинки с плоскими измерительными обмотками, позволяют эффективно преобразовать сигнал и по величине, и по фазе токов трех фаз электрической сети, изменяющихся в большом диапазоне. При этом появляется возможность преобразовать токов в большой диапазон изменения за счет улучшение формы воздушных зазоров цепи преобразования, пространственного расположения воздушных зазоров, упрощения конструкции и геометрических размеров магнитной цепи преобразователя.

На рис.1 представлена общий вид конструкции разработанного ЭМПТН с улучшенными метрологическими и эксплуатационными показателями, рис. 2 – форма измерительной обмотки – чувствительного элемента ЭМПТН [4].

ЭМПТН содержит магнитопровод 1 с тремя выемками, расположенных вдоль оси, из которых две крайние выемки направлены в одну сторону оси, а средняя – по другую сторону оси, при этом воздушный зазор, в котором расположены первичные обмотки - токопроводы А, В и С, трехфазной электрической сети и три П - образные скобы 2, 3 и 4 из магнитного материала, внутри которых расположены плоские измерительные обмотки 5, 6 и 7 на изоляционных пластинках 8, 9 и 10.

ЭМПТН работает следующим образом.

При протекании тока в А, В и С в первичных обмотках - токопроводах трехфазной электрической сети, в магнитопроводе 1 появляются магнитные потоки

Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 , которые в зазоре между торцами пересекают витки плоских измерительных обмоток 2, 3 и 4 при этом:

$$\Phi_1 = (I_A \cdot W_A) / R_{\mu 1}; \quad (1)$$

$$\Phi_2 = (I_B \cdot W_B) / R_{\mu 2}; \quad (2)$$

$$\Phi_3 = (I_C \cdot W_C) / R_{\mu 3}; \quad (3)$$

где I_A , I_B , I_C - первичные токи, протекающие по первичной обмотке: токопроводам A , B и C трехфазной электрической сети; W_A , W_B , W_C - числа витков первичной обмотки - токопроводов A , B и C трехфазной электрической сети (здесь $W_A = W_B = W_C = 1$, т.е. каждая первичная обмотка выполнена в виде одного витка и расположена в выемке магнитопроводов); $R_{\mu 1} = R_{\mu 2} = R_{\mu 3}$ - соответственно, суммарные магнитные сопротивления участков магнитопровода и воздушного зазора на пути магнитных потоков Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 .

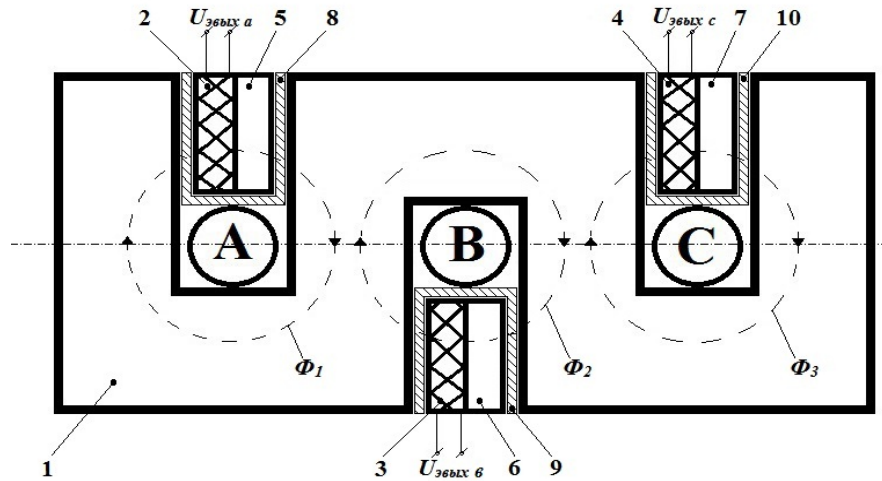


Рис.1. Общий вид ЭМПТН

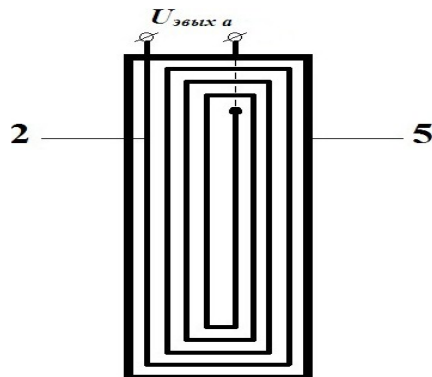


Рис.2. Измерительная обмотка ЭМПТН

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В разработанной конструкции ЭМПТН магнитные сопротивления участков цепи преобразования R_μ зависят от геометрических размеров магнитопровода, П – образной скобы, воздушного зазора и позволяют определить диапазон преобразуемой величины первичных токов I_A, I_B, I_C :

$$R_\mu = \rho l / F ; \quad (4)$$

где: ρ – удельное магнитное сопротивление участков магнитопровода; l – величина воздушного зазора магнитопровода, т.е. длина воздушного (немагнитной) участка на пути магнитного потока Φ ; F – сечение участка на пути магнитного потока.

Напряжения на выходе каждой плоской измерительной обмотки $U_{\text{вых}1}, U_{\text{вых}2}$ и $U_{\text{вых}3}$ определяются в зависимости от взаимовлияния магнитных потоков Φ_1, Φ_2 и Φ_3 в магнитопроводе (рис.1) и величины воздушного зазора δ :

$$U_{\text{вых}a} = 4,44 f \cdot W_1 \Phi_1, \quad (5)$$

$$U_{\text{вых}b} = 4,44 f \cdot W_2 \Phi_2, \quad (6)$$

$$U_{\text{вых}c} = 4,44 f \cdot W_3 \Phi_3, \quad (7)$$

где $W_1 = W_2 = W_3$ – числа витков плоских измерительных обмоток, (плоские измерительные обмотки выполняются с одинаковым числом витков W); f – частота питающей электрической сети.

Магнитные потоки Φ_1, Φ_2 и Φ_3 , созданные первичными токами I_A, I_B и I_C токопроводов трехфазной электрической сети, и имеющие возможность изменять свои значения в зависимости от величины воздушного зазора δ позволяют получить сигнал о токах в виде выходного напряжения.

При этом появляется возможность преобразовать токов в большом диапазон изменения первичных токи за счет улучшения формы магнитной цепи, расположения воздушных зазоров, упрощения конструкции и уменьшения геометрических размеров магнитной цепи преобразователя.

Литература

1. Сиддиков И.Х. Автоматика электрических станции и электроэнергетических систем. – Ташкент; ТашГТУ, , 2007.–35 с.
2. Krontiris E., Hanitch R., Paralika M., Rampias I., Stathais E., Nabe A., Kadirov T.M., Khashimov A.A., Karimov Kh.G., Sitdikov R.A., Shaislamov A.Sh., Yusupov B., Gayibov T.Sh., Siddikov I.Kh., Tulaganov M.M., Badalov A.A. Energy Management Training in Uzbekistan // The final report of the Project EC T JEP-10328 – 97. TU - Berlin (Germany), TEI -Athens (Athens, Greece), TashGTU (Tashkent, Uzbekistan), 1997-2001. – 234 p.
3. Аллаев К.Р., Азимов Р.К., Сиддиков И.Х. и др. Патент РУз. UZ IAP 04907, Преобразователь тока в напряжение, Официальный бюллетень №6, 2014.
4. Сиддиков И.Х., Салиев А.Г., Сиддиков Ж.И., Саимбетов З.Ж. Алгоритмы структурного и параметрического проектирования электромагнитных преобразователей// НТЖ «Химическая технология. Контроль и управление».

Ташкент, 2014. - №2, – С.42-45.

5. Сиддиков И.Х., Саттаров Х.А., Хужаматов Х.Э., Дехконов О.Р. Электромагнитный преобразователь трехфазного тока в напряжение с расширенными эксплуатационными возможностями. // Научно-технический и информационно-аналитический журнал ТУИТ “Вестник ТУИТ”. 2017. - №2. (42). - С. 116-120.

6. Саттаров Х.А. Методика поискового конструирования датчиков. /II Международная научно-техническая конференция «Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации». Уфа-2019. – С. 184-189.

7. Сафаров А.М., Саттаров Х.А. Устройства для преобразования тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями. /Научный информационный сборник “ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление”. Москва – 2020. №1. - С.54-56. DOI: 10.36535/0236-1914-2020-1-7.

*Представлено Ташкентским университетом
информационных технологий*

УДК 691.316

**ЭЛЕКТР МОТОРЛАРНИНГ ЭНЕРГЕТИК ПАРАМЕТРЛАРИНИ ТАҲЛИЛИ
АСОСИДА РОТОР ТЕХНИК ҲОЛАТИНИ ДИАГНОСТИКА ҚИЛИШ
МОДЕЛИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

Ғ.О. Холбоев, Б.Ш. Нарзуллаев

Ушбу мақолада электр мотор роторининг электр параметрларини таҳлил қилиши орқали ротор чўлғамларининг ҳолатини диагностика қилишининг Matlab|Simulink дастури асосида модели ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган мазкур моделнинг мавжуд усуллардан фарқи шундаки, электр мотор қўзғатиши токининг ҳисобланган ва ўлчанган қиймати ўртасидаги ҳисоб китобларнинг оддийлиги, ҳамда ротор чўлғамининг техник ҳолатини доимий равишда график кўринишида мониторга чиқариб туришидир. Мақолада келтирилган экспериментал тадқиқот натижалари айни вақтда Навоий кон-металлургия комбинати АЖга қарашли ГМЗ-1 заводида рудаларни майдалаб езишда ишлатиладиган тегирмонларнинг юритмаларини ҳаракатга келтиришда ишлатиладиган қуввати 900 кВт бўлган синхрон электр моторларининг параметрлари асосида олинган. Ишлаб чиқилган мазкур модел бугунги кунда мамлакатимизнинг барча ишлаб чиқариши корхоналаридаги ҳамда қишлоқ хўжалигидаги машина ва механизмларни ҳаракатга келтирувчи катта қувватли асинхрон ва синхрон моторларининг ротор чўлғамларида келиб чиқадиган муаммоларнинг ечими учун долзарб ҳисобланади. Мазкур моделни амалиётга қўллашдан асосий мақсад, электр моторларининг ротор чўлғамларида содир бўладиган қисқа туташувларни эрта аниқлаб бартараф этишидир. Натижада, корхонанинг ишлаб чиқариши унумдорлигини ошириши, технологик сиклнинг бузилишини олдини олиши, техник иқтисодий кўрсаткичлари билан боғлиқ бўлган сарф харажатларни камайтириши, энергия ва ресурсларни тежаш ҳамда электр моторларнинг ишлаш ишончлилигини оширишига эришилади.

Калим сўзлар: диагностика, монитор, электр мотор, қисқа туташув, чўлғам, магнит майдон, траектория, энергетик қурилма, сарф-харажат, технологик сикл, энергия, ресурс, ишончлик, қўзғатиши токи, авария, унумдорлик, механизм, тегирмон, алгоритм.

В данной статье на основе программы Matlab|Simulink разработана модель диагностики состояния подшипников ротора электродвигателя путем анализа электрических параметров ротора. Отличие разработанной модели от существующих методов состоит в том, что расчет тока возбуждения электродвигателя прост, а техническое состояние ротора постоянно отображается на мониторе в графической форме. Результаты экспериментальных исследований, представленные в статье, получены на основе параметров синхронных электродвигателей мощностью 900 кВт, которые используются для привода вращения мельниц, используемых для дробления руды на заводе ГМЗ-1,

принадлежащему АО Навоийский горно-металлургический комбинат. Разработанная модель актуальна для решения проблем, возникающих в роторных частях асинхронных и синхронных двигателей большой мощности, приводящих в действие машины и механизмы на производственных предприятиях и в сельском хозяйстве нашей страны. Основной целью использования данной модели на практике является раннее обнаружение и устранение последствий коротких замыканий, возникающих в роторных частях электродвигателей. В результате можно повысить производительность предприятия, предотвратить нарушения технологического цикла, снизить затраты, связанные с технико-экономическими показателями, сэкономить энергию и ресурсы, повысить надежность электродвигателей.

Ключевые слова: диагностика, монитор, электродвигатель, короткое замыкание, цепь, магнитное поле, траектория, энергетический прибор, расход, технологический цикл, энергия, ресурс, надежность, ток возбуждения, авария, производительность, механизм, мельница, алгоритм.

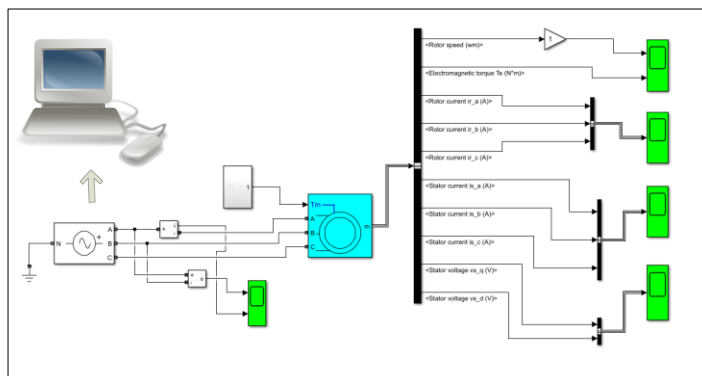
In this article, based on the Matlab/Simulink program, a model for diagnosing the condition of rotor bearings has been developed by analyzing the electrical parameters of the electric motor rotor. The difference between the developed model and existing methods is that the calculation between the calculated and measured value of the excitation current of the electric motor is simple, and the technical condition of the rotor is constantly displayed in a simple form on the monitor in the form of a graphical form. The results of the experimental studies presented in the article were obtained based on the parameters of synchronous electric motors with a power of 900 kW, which are used to drive the movements of the mills used for crushing ores at the GMZ-1 plant, owned by the joint-stock company. Navoi Mining and Metallurgical Combine. The developed model is relevant today for solving problems that arise in the rotor parts of high-power asynchronous and synchronous motors that drive machines and mechanisms at all manufacturing enterprises in our country and in agriculture. The main purpose of using this model in practice is the early detection and elimination of short circuits that occur in the rotor parts of electric motors. As a result, it is possible to increase the production productivity of the enterprise, prevent disruption of the technological cycle, reduce costs associated with technical and economic indicators, save energy and resources, and increase the reliability of electric motors.

Key words: diagnostics, monitor, electric motor, short circuit, circuit, magnetic field, trajectory, energy device, consumption, technological cycle, energy, resource, reliability, excitation current, accident, productivity, mechanism, mill, algorithm.

Кириш. Бугунги кунда ишлаб чиқариш корхоналарида катта қувватли машина ва механизмларнинг юритмаларини ҳаракатга келтиришда асосан синхрон моторлар ишлатилади. Шунингдек, ишлаб чиқариш корхоналарининг иш унумдорлиги, иш жараёнининг жадал суратларда олиб борилиши ва корхона томонидан ишлаб чиқариладиган маҳсулотларни вақтида етказиб берилиши, электр моторларнинг самарали ҳамда ишончли ишлаши билан узвий боғланган [4.5]. Шу сабабли, мамлакатимизда электр моторларининг иш жараёнларида содир бўладиган авариялар

туфайли уларнинг тўсатдан тўхтаб қолишлари, режадан олдин таъмирга келиши билан боғлиқ бўлган техник-иктисодий сарф харажатларни камайтиришга катта этибор қаратилмоқда. Электр моторларнинг иш жараёнларига таъсир қилувчи авариялардан бири бу унинг ротор чўлғамларининг уланиш нуқталарида содир бўладиган қисқа туташувлар оқибатида содир бўладиган авариялардир. Бундай авариялар туфайли ротор харорати кескин ортиб кетади, натижада ротор ва статор ўртасидаги магнит майдон боғланиши ҳамда ротор айланиш траекторияси бузилади, бу ҳолат моторларнинг иш режимларига сальбий таъсир кўрсатади. Электр моторларининг ротор чўлғамлари билан боғлиқ бўлган бундай муаммоларнинг олдини олишда ротор чўлғамларининг ҳолатини мунтазам равишда диагностика қилиш зарур бўлади. Натижада ротор чўлғамларининг техник ҳолатида содир бўладиган ўзгаришларни ва аварияларни эрта аниқлаб уларнинг олдини олишга эришилади [1,2].

Асосий қисм. Ҳозирги кунда Республикамизнинг барча ҳудудларидаги ишлаб чиқариш корхоналарида катта қувватли машина ва механизмларни ҳамда кишлоқ хўжалигининг турли соҳаларидаги насос агрегатларини ҳаракатга келтиришда синхрон моторлардан кенг қўламда фойдаланиб келинмоқда. Синхрон моторларнинг афзалликлари айлантирувчи моментнинг катталиги, статор магнит майдон айланиш тезлиги ва ротор айланиш тезликларининг тенглиги ҳамда ишда ишончилигидир [5]. Бизга маълумки, асинхрон ва синхрон моторларнинг статор чўлғамларига уларни ташқи муҳитдан, тармоқда бўладиган хар ҳил носинусоидал кучланиш ўзгаришларидан ҳимоя қилиш мақсадида реле воситалари қўлланилади, лекин хар икала моторнинг ҳам камчиликлари шундаки, уларнинг ротор чўлғамларида бўладиган ўзгаришларни мунтазам равишда назорат қиладиган ҳамда уларни бошқа бир омиллардан ҳимоя қиладиган реле воситалари қўлланилмаган қолаверса, буни имкони ҳам бўлмаган бу уларнинг катта камчиликларидан бири ҳисобланади. Қолаверса, асинхрон ва синхрон моторларнинг статор ва ротор қисмларининг шкастланиш даражаси айни вақтда 48 % ни ташкил қилади бу кўрсаткич моторнинг умумий шкастланиш даражасининг ярмини ташкил қилишидан далолат беради [8, 9, 10, 11, 15]. Шундай экан электр моторларнинг ротор чўлғамларида бўладиган ўзгаришларни, уларда бўладиган қисқа туташув жараёнларини доимий равишда статорга келадиган кучланиш ва тоқларни ҳаракат юналишларини назорат ҳамда мониторинг қилиш асосида диагностика қилишнинг моделини ишлаб чиқиш лозим. Синхрон моторларнинг узликсиз ишлаш вақт давомида уларнинг ротор чўлғамларининг уланиш нуқталарида изоляциясининг эскириши оқибатида ички шкастланишлар юзага келади бунинг натижасида улар қисқа туташиб қолади. Биз статорга ҳамда роторга келадиган кучланиш ва фаза тоқларни Matlab\Simulink дастури асосида таҳлил қилиб, ротор чўлғамларининг техник ҳолатини диагностика қилиш моделини ишлаб чиқдек (1-расм).



1-расм. Matlab Simulink дастури асосида йиғилган ротор чўлғамининг техник ҳолатини диагностика қилиш моделининг структуравий схемаси

1-расмдаги синхрон моторнинг ишлаш режими электромагнит моментнинг ишорасига асосан аниқланади. Бунда А,Б ва С портлари мотор статор чўлғамининг чиқишлари, m порти эса ротор чўлғамининг чиқишлари бўлиб ҳисобланади. Моделнинг Тm порти ҳаракатланишга қаршилик моментини бошқариш учун хизмат қилади. Моделнинг m чиқиш портида 21 та элементдан иборат вектор сигнал шаклланади. Улар куйидагилар:

- ҳаракатланмайдиган ва айланувчи координаталар системаларида ротор ва статорнинг тоқлари;
- магнит оқимлари ва кучланишлари;
- электромагнит момент;
- валнинг айланиш тезлиги ва унинг бурчак ҳолати [14].

Синхрон моторнинг модели электр ва механик қисмлардан иборат. Биз бу моделни электр қисми бўйича фойдаланамиз бунда электр қисми тўртинчи тартибли тенгламалардан тузилган бу куйидагича:

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} + \omega \varphi_{ds}; \quad 1) \quad \varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr}; \quad (6)$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \omega \varphi_{qs}; \quad 2) \quad \varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr}; \quad (7)$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{qr} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{dr}; \quad 3) \quad \varphi'_{qr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds}; \quad (8)$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi'_{dr} + (\omega - \omega_r) \varphi'_{qr}; \quad 4) \quad \varphi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{qs}; \quad (9)$$

$$T_e = 1.5p(\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}); \quad 5) \quad \begin{aligned} L_s &= L_{ls} + L_m \\ L'_r &= L'_{lr} + L_m; \end{aligned} \quad (10)$$

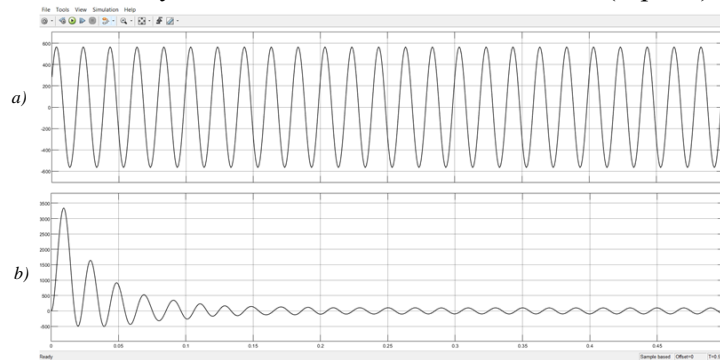
- бу ерда d – ўзгарувчининг d ўққа проекцияси;
 q – ўзгарувчининг q ўққа проекцияси;
 r – ўзгарувчи ёки роторнинг параметри;
 s – ўзгарувчи ёки статорнинг параметри;
 L – сочилиш индуктивлиги;

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

m – магнитлаш занжарининг индуктивлиги [5].

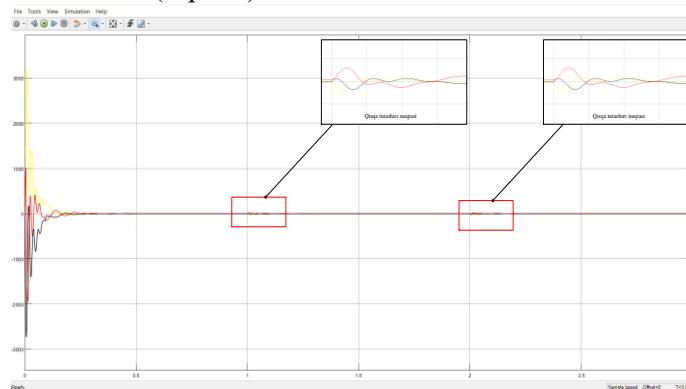
Юқоридаги тенгламалар (1-10) асосида электр моторнинг ротор чўлғамидаги қисқа туташув нуқталарини аниқлаймиз.

Электр мотор ишга тушганда у уч фазали ўзгарувчан ток тармоғидан $u = U_m \sin \omega t$ кучланиш ола бошлайди. Бунда мотор ишга тушишнинг бошланғич ҳолатида кўзғатиш токи жуда катта қийматни ташкил қилади (3-расм).



3-расм. Электр моторнинг ишга тушиш вақтидаги фаза кучланишлари (а) ва фаза токлари (б)

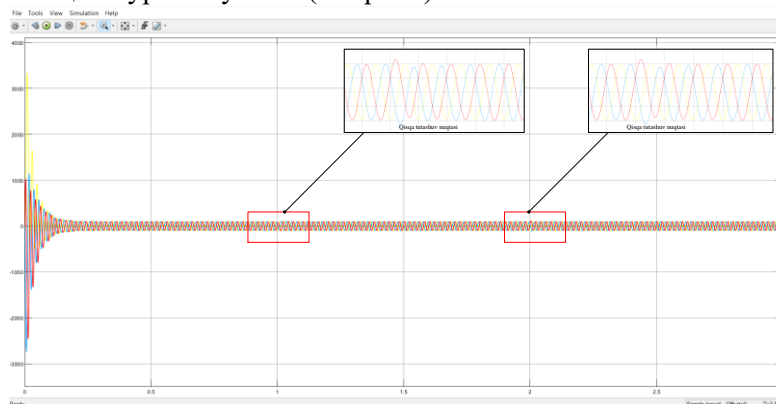
3-расмдаги b графикда мотор бошланғич ҳаракатни олганда фаза токлари катта қийматга эришганини кўришимиз мумкин. Бунда мотор 0 дан 0,06 секунд гача кўзғатиш токи катта қийматдан 3600 А дан пастга 500 А гача тушиб келган ҳамда мотор номинал тезликка эришгандан сўнг 0,09 секунддан кейин истеъмоладиган ток бир текис бўлган. (3-4) ва (8-9) формулалар асосида ротор чўлғамларида бўладиган ўзгаришларни аниқлаймиз (4-расм).



4-расм. Ротор чўлғамидаги қисқа туташув нуқталарини Matlab\Simulink дастури асосида аниқланган натижалари

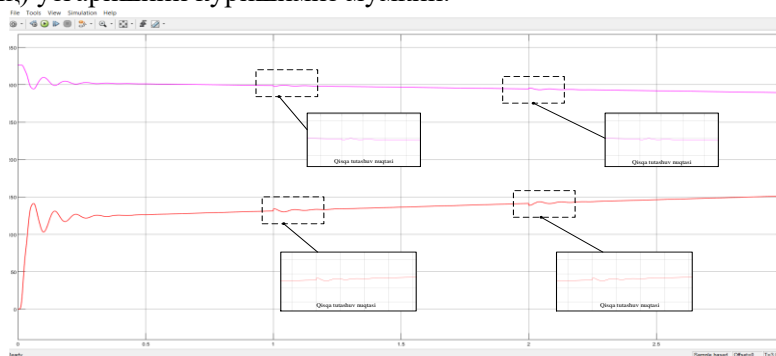
4-расмда 0 дан 0,4 секунд оралиқ электр моторнинг ишга тушиш оралиғи, 1 дан 1,2 секунд орасида ротор чўлғамларида қисқа туташув нуқтаси борлигини кўришимиз

мумкин, бу ҳолат ҳар 2 секундда такрорланади. Ротор чўлғамларида бундай ҳолатлар аниқланганда дарҳол моторнинг ишлаш жараёни тўхтатилади ҳамда қисқа тутатиш сабаблари ўрганилиб тезда бартараф этилади, акс ҳолда электр моторни шу ҳолатда ишлатишни давом эттирсак бу унинг салбий оқибатларига олиб келади, ҳаттоки мотор яроқсиз ҳолга ҳам келиб қолиши мумкин. Электр моторнинг ротор чўлғамида қисқа туташув содир бўлганда статор чўлғамининг айна шу нуқталарида ток ва кучланишлар ўзгаришларини ҳам кўриш мумкин (5-6 расм).



5-расм. Синхрон моторнинг статор чўлғамидаги электр токининг ўзгариши

5-расмдаги 1 ва 2 секунд вақт оралиқларига этибор берсак, А фазадаги токнинг (қизил чизик) ўзгаришини кўришимиз мумкин.

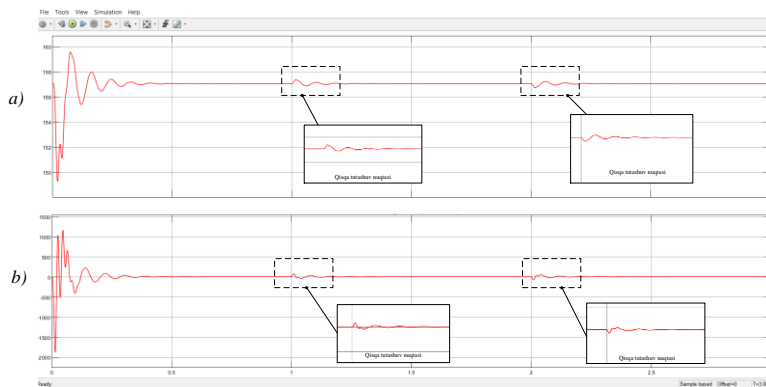


6-расм. Синхрон моторнинг статор чўлғамидаги d-q ўқларидаги кучланишларнинг вақт бўйича ўзгариши

6-расмда . “—” ранг “d”-ўқ, “—” “q”-ўқ проекциясиялари ҳисобланади, бунда ҳам 1 ва 2-секунд вақт оралиқларида кучланишларнинг ўзгариш нуқталарини кўришимиз мумкин.

Электр моторларнинг ротор чўлғамларида қисқа тутатиш ҳолатлари кузатилганда бу ҳолат уларнинг тезликлари ҳамда электромагнит моментларига ҳам таъсир кўрсатади (7-расм).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА



7-расм. Синхрон мотор ротор айланиш тезлиги (а) ва электромагнит momenti (b)

Юқорида олинган экспериментал тадқиқот натижаларидан кўриниб турибдики, электр моторларнинг ротор чўлғамларида келиб чиқадиган қисқа туташувлар уларнинг энг нозик элементларига ўз таъсирини кўрсатар экан.

Хулоса. Электр моторларнинг ротор чўлғамларида содир бўладиган қисқа туташув ҳолатлари, уларнинг электр параметрларини таҳлили асосида олдиндан аниқлаб бартараф этилса, моторларнинг электромагнит-айлантирувчи моментининг ҳамда ротор айланиш тезлигининг камайиши, ротор чўлғамларининг ҳарорати нормал ҳароратдан ошиб кетиши, изоляция тешилиши каби омиллар туфайли моторларнинг иш жараёнларида юзага келадиган авариялар бартараф этилиб, моторнинг муддатдан олдин тамирга келиш ҳолатларининг олдини олишга эришилади.

Адабиёт

1. Аллаев К.Р., Хошимов Ф.А. Энергосбережение на промышленных предприятиях. - Т.: Фан, 2011: -207 с.
2. Қаршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Муродов Х.Ш. Models and methods of optimization of electricity consumption control in industrial enterprises // APITECH II Journal of Physics: Conference Series 2020.
3. Қаршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Расулова Б.И. Саноат корхоналаридаги электр энергия истеъмолчиларининг иш режимларини ахборот-мантқиқий схема ёрдамида бошқариш. // Кончилик хабарномаси журнали. 2020 й. 2-сон.
4. Қаршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш. Энергетик қурилмаларнинг қизиш ҳароратини ҳисоблаш орқали уларнинг техник ҳолатини диагностика қилиш тизимини такомиллаштириш. // Кончилик хабарномаси журнали. 2022 й. 4-сон.
5. Дадажонов Т., Мухитдинов М. Матлаб асослари .Олий укув юртлари учун укув кулланма. - Т.: Ўзбекистон Республикаси ФА. “Фан” нашириёти. 2008.
6. Нарзуллаев Б.Ш. Синхрон моторларнинг энерго-механик кўрсаткичлари асосида қизиш ҳароратини ҳисоблаш. // Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк

агентлиги. Компютер дастурини расмий рўйхатдан ўтказиш тўғрисидаги гувоҳнома № ДГУ 21014. 12.12.2022.

7. Qarshibaev A.I., Narzullayev B.Sh. Diagnostics of the Technical Condition of Energy Devices based on the Monitoring of Phase Voltages and Currents. // Journal of Pharmaceutical Negative Results. Volume 13. Special Issue 8 - 2022.

8. Каршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Суяров О.Т., Расулова Б.И. Саноат корхоналарининг энергия самарадорлигини баҳолаш. //Специальный выпуск журнала. “Проблемы энерго и ресурсосбережения”. - Тошкент: 2019.

9. Karshibaev A.I., Narzullaev B.Sh. Saving Energy and Resources through Electric Power Consumers Management // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 6, June 2019.

10. Karshibaev A.I., Narzullaev B.Sh. Improving planning, operational management and accountability for energy consumption in Uzbekistan’s industrial plants. // International journal of advanced research in science engineering and technology. – Индия, 2019. - №6. – С. 11086-11088.

11. Нарзуллаев Б.Ш. Асинхрон моторларнинг энерго-механик кўрсаткичларини мониторинг асосида техник ҳолатини диагностика қилиши. // Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси –Тошкент, 2022.

12. Бабурин С.В., Жуковский В.Л., Коржев А.А., Кривенко А.В., Плеханова Г.В. Современные методы неразрушающего контроля и диагностики технического состояния электроприводов горных машин / С.-Петербург. гос. горн. ин-т им. – СПб., 2009. – 163 с.

13. Тонких В.Г. Метод диагностики асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве на основе анализа их внешнего магнитного поля. – Барнаул, 2009. – 181 с.

14. Петухов В. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости Электротехники. 2005. – № 1 (31). – С. 23–28.

15. Thorsen V., Dalva M. Condition Monitoring Methods, Failure Identification and Analysis for High Voltage Motors in Petrochemical Industry / University of Cambridge. – 1997. – № 444. – С. 1–13.

Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети томонидан тақдим этилган

UDK 621.314

**“CLOUD COMPUTING” TEXNOLOGIYASI ASOSIDA ASINXRON MOTOR
REAKTIV QUVVATINI NAZORAT QILISH VA BOSHQARISH**

M.T. Maxsudov

Ushbu maqolada “Cloud computing” texnologiyasi asosida asinxron motorlarni elektr energiya iste’molini masofadan, uzluksiz monitoring qilish va reaktiv quvvat manbasini boshqarish yoritilgan. Bunda asinxron motorlarni real reaktiv quvvati axborotini olishda sochilish magnit oqimlari o’zgarishini hisobga oluvchi tok o’zgartgichlaridan foydalanish hamda “Cloud computing” texnologiyasi asosida ushbu tok o’zgartkichining chiqish signalini nazorat qilish uchun qulay bo’lgan kattaliklarni ta’minlash asoslari keltirilgan. “Cloud computing” asosida reaktiv quvvatni nazorat va boshqaruvi uchun talab qilingan chiqish kuchlanishini olishda avvalo asinxron motorning stator pazlari va asosiy chulg’ami o’ramlar soni, tarmoq kuchlanishi va kerakli chiqish kuchlanishini chegarasi kiritiladi. Tuzilgan algoritm asosida bir necha soniyada sezish elementining o’ramlar soni va ular joylashadigan pazlar sonini ratsional qiymati aniqlanadi. Asinxron motorlar uchun reaktiv quvvat manbalarini quvvatini tok kattaligi bo’yicha avtomatik boshqarish bir pog’onali yoki ko’p pog’onali bo’lishi mumkin. Bir pog’onali boshqaruvda sutkaning aniq bir vaqtida bir nechta reaktiv quvvat manbalari ulanadi yoki o’chiriladi. Ko’p pog’onali boshqaruvda navbati bilan avtomatik ravishda bir nechta reaktiv quvvat manbalari bir pog’onali boshqariluvchi yoxud belgilangan dastur bo’yicha ma’lum bir topshiriq asosida ulanishiga yoki o’chirilishi mumkin. Bu jarayonlarni nazorat qilish va boshqarishda “Cloud computing” texnologiyasini qo’llanilish va axborot bilan ta’minlashda tokni kuchlanishga o’zgartgichi tadqiqi ko’rib chiqilgan.

Kalit so’zlar: *Cloud computing, reaktiv quvvat, asinxron motor, tok o’zgartkichi, kuchlanish.*

В этой статье рассматривается дистанционный непрерывный мониторинг потребления электроэнергии асинхронными двигателями и управление реактивным источником питания на основе технологии “Cloud computing”. В ней изложены основы использования асинхронных двигателей с преобразователями тока, учитывающими изменение магнитных потоков рассеяния при получении информации о реальной реактивной мощности, а также обеспечение величин, удобных для управления выходным сигналом этого преобразователя тока на основе технологии “Cloud computing”. При получении требуемого выходного напряжения для управления реактивной мощностью на основе “Cloud computing”, сначала вводятся количество обмоток клинов статора и основного колеса асинхронного двигателя, напряжение сети и пределы выходного напряжения. На основании составленного алгоритма за несколько секунд определяется рациональное значение числа обмоток зондирующего элемента и количества клинов, на которых они будут располагаться. Для асинхронных двигателей автоматическое регулирование

мощности источников реактивной мощности по величине тока может быть одноступенчатым или многоступенчатым. При одноступенчатом управлении в определенное время суток подключается или отключается несколько источников реактивной мощности. При многоскоростном управлении, соответственно, несколько источников реактивной мощности могут быть подключены или отключены на основе конкретной задачи в рамках односкоростного контроллера или заданной программы. Исследование переключения тока и напряжения было рассмотрено в рамках применения и информационной поддержки технологии “Cloud computing” для контроля и управления этими процессами.

Ключевые слова: облачные вычисления, реактивная мощность, асинхронный двигатель, преобразователь тока, напряжение.

This article discusses remote continuous monitoring of power consumption by asynchronous motors and control of a reactive power source based on “Cloud computing” technology. It outlines the basics of using asynchronous motors with current converters that take into account the change in magnetic scattering fluxes when receiving information about the real reactive power, as well as providing values convenient for controlling the output signal of this current converter based on Cloud computing technology. When obtaining the required output voltage for controlling and controlling reactive power based on “Cloud computing”, the number of windings of the stator wedges and the main wheel of the asynchronous motor, the mains voltage and the limit of the required output voltage are first entered. Based on the compiled algorithm, the rational value of the number of windings of the probing element and the number of wedges on which they will be located is determined in a few seconds. For asynchronous motors, automatic power control of reactive power sources by current value can be single-stage or multi-stage. With single-stage control, several reactive power sources are connected or disconnected at certain times of the day. With multi-speed control, accordingly, several reactive power sources can be connected or disconnected based on a specific task within a single-speed controller or a given program. The study of current and voltage switching was considered as part of the application and information support of Cloud computing technology for monitoring and managing these processes.

Keywords: cloud computing, reactive power, asynchronous motor, current converter, voltage.

Elektr ta'minoti tizimida reaktiv quvvatni ishlab chiqarish va iste'mol qilish jarayonlarini boshqarishda zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish elektr energiyasi isrofini kamaytirishga, qo'shimcha iqtisodiy samaradorlikka erishishga va elektr energiyasi sifatini me'yoriy qiymatlarini ta'minlashga imkonini beradi.

Asinxron motorlar reaktiv quvvatni asosiy iste'molchilari bo'lib, ularda reaktiv quvvatni kompensatsiyalash quyidagi 2 usul bilan bajarilishi mumkin:

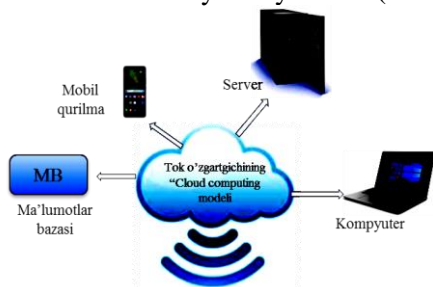
- tabiiy usul – asinxron motor stator chulg'amlari ulanishini, elektr energiyasi kattaliklarini o'zgartirib yoki ish rejimlarini optimallashtirish bilan;
- sun'iy usul – maxsus reaktiv quvvat manbalarini qo'llash bilan.

Asinxron motorlarda kompensatsiyalash qurilmalari sifatida kondensator batareyalari, sinxron motorlar, sinxron kompensatorlar va reaktiv quvvatning ventilli manbalarini qo'llash maqsadga muvofiq. Asinxron motorlar uchun kondensator batareyalaridan foydalanish tavsiya etiladi [1]. Ularning asosiy afzalliklari solishtirma quvvat isroflarining kichikligi $0,5-4 \text{ Vt/kVAr}$ va asinxron motorlar yonida o'rtatilish imkoniyati yuqoriligi. Kondensator batareyalarini asinxron motorlar yaqinida o'rnatish ichki elektr tarmoqlarda bo'ladigan quvvat va kuchlanish isroflarini kamaytiradi. Shu bilan birga kondensator uskunasini reaktiv quvvatini zamonaviy texnologiyalar asosida boshqarish va monitoring qilish sodda hisoblanadi.

Hozirgi kunda "Cloud computing" texnologiyasi orqali elektr qurilmalari haqida istalgan joyda Internet tarmog'idan foydalangan holda ma'lumotlar olish, qayta ishlash, boshqarish va nazorat qilib borish yangi tadqiqot usuli sifatida rivojlanmoqda.

"Cloud computing" texnologiyasi ilmiy tadqiqotlar olib borishda zamonaviy yondashuv sifatida Internet tarmog'i orqali tadqiq qilinayotgan obyekt ustida istalgan joydan tadqiqot ishlarini amalga oshirish imkoniyatlarini yuzaga keltirishi bilan ahamiyatlidir [2].

O'tgan yillar mobaynida bulutli hisoblash konsepsiyasi va virtuellashtirish tamoyili tez suratlarda rivojlandi, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasining muhim bo'laklaridan biriga aylandi. Shu jumladan, asinxron motor reaktiv quvvatining nazorat va boshqaruv tizimi tok o'zgartkichlari ustida ilmiy tadqiqotlar olib borish va natijalarni tahlil qilishda bulutli hisoblash tizimidan foydalanish tadqiqot jarayonlarini tezlashtiradi, Internet tarmog'i orqali istalgan joyda foydalanish va tok o'zgartkichining asosiy tavsiflarini shakllantirish imkoniyatini yaratadi (1-rasm).



1-rasm. Tok o'zgartkichini "Cloud computing" modeli asosidagi tadqiqoti

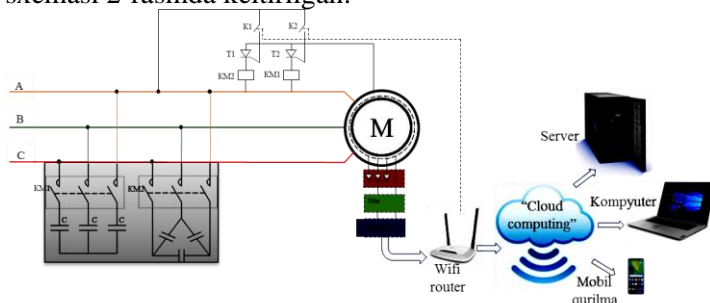
Tok o'zgartkichlarini statik tavsiflarini tadqiq qilishda "Cloud computing" modeli yaratilgan bo'lib, ushbu model asosida tadqiq qilinayotgan tok o'zgartkichini istalgan joyda va istalgan asinxron motor parametrlariga mos holda statik tavsiflarini qurish va natijalarni grafik ko'rinishda aks ettirish mumkin [2,3]. Shu bilan birga "bulutli hisoblash" orqali tadqiq etilayotgan uch fazali tok o'zgartkichining har bir fazasiga mos statik tavsiflarini solishtirish, xulosalar olish va natijalarni saqlash imkoniyati mavjud.

Asinxron motorlarni elektr ta'minotida kondensator batareyalari ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvatni nazorat qilish va boshqarish ham muhim hisoblanib, qo'shimcha isroflarni kamaytiradi va elektr energiyasi sifat ko'rsatgichlarini yaxshilaydi. Tok datchigi sifatida amaliyotda keng tarqalgan tok transformatori qo'llaniladi. Tok transformatorlarida

birlamchi tokni ikkilamchi tokka o'zgartirishda magnit tizimini to'yinish xususiyati tufayli xatoliklarni ortishi kuzatiladi. Ushbu kamchiliklarni kamaytirish maqsadida tokni kuchlanishga o'zgartkichlar ustida bir qancha ilmiy ishlar bajarilgan. Xususan, birlamchi toklarni ikkilamchi kuchlanish ko'rinishidagi signallarga o'zgartiruvchi yassi o'lchov chulg'amli tok o'zgartkichlari ishlab chiqilgan va amaliyotda qo'llanilmoqda.

Asinxron motorlar uchun reaktiv quvvat manbalarini quvvatini tok kattaligi bo'yicha avtomatik boshqarish bir pog'onali yoki ko'p pog'onali bo'lishi mumkin. Bir pog'onali boshqaruvda sutkaning aniq bir vaqtida bir nechta reaktiv quvvat manbalari ulanadi yoki o'chiriladi. Ko'p pog'onali boshqaruvda navbati bilan avtomatik ravishda bir nechta reaktiv quvvat manbalari bir pog'onali boshqariluvchi yoxud belgilangan dastur bo'yicha ma'lum bir topshiriq asosida ulanishiga yoki o'chirilishi mumkin. Bunda tok o'zgartgichlaridan asinxron motor reaktiv quvvati qiymatini beruvchi signal olinadi va reaktiv quvvat manbasini boshqarish tizimiga va "Cloud computing" ga wifi orqali ma'lumotlar uzatiladi.

Asinxron motor stator tokini kuchlanishga o'zgartkich asosida reaktiv quvvat manbasini boshqarish tizimining "Cloud computing" texnologiyasi asosidagi prinsipial sxemasi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Asinxron motor stator tokini kuchlanishga o'zgartkichi asosida reaktiv quvvat manbasini boshqarish tizimining qurish tamoyili

Bu sxemani tahlili shuni ko'rsatadiki, sezgir element sifatida joylashtirilgan o'lchov chulg'ami, aynan shu holda stator tokini chiqish signali bo'lgan kuchlanishga o'zgartkichi reaktiv quvvat manbayini boshqarish tizimidagi asosiy element hisoblanadi va kerakli axborot bilan boshqarish va nazorat tizimini ta'minlaydi [4, 5].

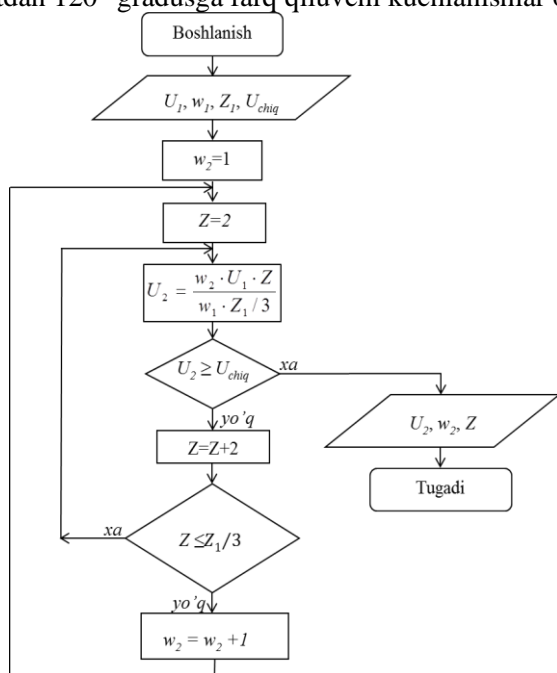
Tok o'zgartkichining statik tavsiflarini tadqiqi uchun ishlab chiqilgan algoritim asosida "Cloud computing" modeli yaratildi, ushbu tadqiqot modelidan foydalangan holda natijalarni olish uchun "https://statik-tavsif.netlify.app/" ilova orqali birlamchi kirish kattaliklarini kiritish yetarli:

$$\begin{aligned}
 U_{chiq,1} &= \frac{w_4}{w_1} \cdot (U_1 - Z_1 \cdot I_1); \\
 U_{chiq,2} &= \frac{w_5}{w_2} \cdot (U_2 - Z_2 \cdot I_2); \\
 U_{chiq,3} &= \frac{w_6}{w_3} \cdot (U_3 - Z_3 \cdot I_3).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Nazorat va boshqaruv tizimi uchun asinxron motorning stator pazlariga joylangan sezish elementini (o'lchov chulg'ami) stator qismidagi asosiy va sochilish magnit oqimlari

kesib o'tishi natijasida chiqishda kuchlanish ko'rinishidagi signal hosil bo'ladi. Bu chiqish kuchlanishini qiymati asinxron motorning stator chulg'ami o'ramlar soni w_1 , qarshiligi Z_1 , tarmoq kuchlanishi U_1 , stator chulg'amidan o'tuvchi tok kuchi I_1 va sezish elementi o'ramlari soni w_2 (odatda $w_2=1$ yoki 2) ga bog'liq [6].

(1) ifoda bo'yicha uch fazali tok o'zgartkichining chiqishlaridan qiymati teng va faza jixatdan 120^0 gradusga farq qiluvchi kuchlanishlar olinadi.



3-rasm. Sezish elementini o'ramlar sonini va ular joylashadigan stator pazlari sonini ratsional tanlash algoritmining blok –sxemasi: bu yerda, U_1 – tarmoq kuchlanishi; w_1 – stator chulg'ami o'ramlar soni; Z_1 – stator pazlari soni; U_{chiq} – talab qilingan chiqish kuchlanishi; w_2 – sezish elementi o'ramlar soni; Z – sezish elementlari joylanadigan pazlar soni

Asinxron motorning stator toklarini ikkilamchi kuchlanish ko'rinishidagi kattalikka o'zgartkichning sezish elementlariga yuqori sezgirlik va yuqori o'zgartirish tezlik, birlamchi zanjirdan izolyatsiyalanganlik, samaradorlik, o'lchamlari va vaznini kichikligi, tan narxining arzonligi kabi talablar qo'yiladi. Ushbu talablarni ta'minlanishi uchun asinxron motor reaktiv quvvatini nazorati va boshqaruvining uch fazali tok o'zgartkichini sezish elementini stator pazlaridagi asosiy chulg'amlar va ponalar oralig'iga joylashtiriladi [7]. Bunda me'yoriy talab qilingan kuchlanish kattaligini olish uchun sezish elementi joylashuvchi stator pazlari va sezish elementi o'ramlar sonini ratsional tanlash kerak va uni amalga oshirish algoritmi 3-rasmda keltirilgan.

Blok – sxemadan ko'rinib turibdiki, asinxron motorning reaktiv quvvatini nazorat va boshqaruvi uchun talab qilingan chiqish kuchlanishini olishda avvalo asinxron motorning stator pazlari va asosiy chulg'ami o'ramlar soni, tarmoq kuchlanishi va kerakli chiqish kuchlanishini chegarasi kiritiladi. Tuzilgan algoritm asosida bir necha soniyada sezish elementining o'ramlar soni va ular joylashadigan pazlar sonini ratsional qiymati aniqlanadi.

Xulosa qilish mumkinki, asinxron motorlar elektr ta'minotida reaktiv quvvat manbalari kattaliklari, parametrlari va ularni boshqarish usullarini to'g'ri tanlash, shu bilan

birga asinxron motor reaktiv energiyasi iste'molini nazorat va boshqaruv tizimida ishlatiladigan birlamchi tok o'zgartkichlarini takomillashtirish maqsadida tadqiq etish ahamiyatlidir.

Adabiyot

1. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие/ Томский политехнический университет. –Томск:Изд-во Томского политехнического университета, 2012. –234 с.

2. Сиддиқов И.Х., Хужаматов Х.Э., Мақсудов М.Т., Саидова Г.Э., Анарбаев М.А. Телекоммуникация ва ахборот технологиялари объектлари ва қурилмаларининг энергия манбаларини мониторинг ва бошқаруви // МУХАММАД АЛ–ХОРАЗМИИ АВЛЮДЛАРИ. Илмий–амалий ва ахборот–таҳлилий журнал 3 (9), сентябр 2019, Тошкент. 106–109 бет.

3. Сиддиқов И.Х., Мақсудов М.Т., Боиханов З.У. угли, Схема замещения и анализ работы асинхронного двигателя при потреблении реактивной мощности. // Главный энергетик, 2021. - №7.

4. Мақсудов М.Т., Анарбаев М.А., Сиддиқов И.Х. Электромагнитные преобразователи тока для управления источниками реактивной мощности // Universum: Технические науки: электрон.научн. журн. 2019. -№ 3(60). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7095>.

5. Сиддиқов И.Х., Лежина Ю.А., Хонтўраев И.М., Мақсудов М.Т., Абдумаликов А.А. Исследование показателей надежности и вероятности работоспособности датчиков контроля и управления энергопотреблением // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. Астрахань: ГАОУ АО ВО "АГАСУ", 2020. № 1(31). -С. 74-78.

6. Мақсудов М.Т., Каримжонов Д.Д. Асинхрон моторларнинг реактив қувватини назорат ва бошқаруви учун ток ўзгарткичларининг динамик тавсифлари тадқиқи. Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. Тошкент, 2021. № 3, 240-249 бетлар.

7. I. K. Siddikov, A. A. Abdumalikov and M. T. Makhsudov, "Modeling and Research Multiphases Signal Transducers of Power Control Systems," 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351482.

*Andijon mashinasozlik instituti
tomonidan taqdim etilgan*

УДК 621.311.721

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИДАГИ
АВТОМАТЛАШТИРИЛГАН БОШҚАРУВ ТИЗИМЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШ
АЛГОРИТМИ

Ф.М. Қодиров, М. Сапаев

Мақолада телекоммуникация электр таъминоти тизимларидаги автоматлаштирилган бошқарув тизимларини лойиҳалаш алгоритми ишлаб чиқилган. Автоматлаштирилган лойиҳалаш тизимларининг ишлаш алгоритмини яратиш жараёнида замонавий телекоммуникация электр таъминот тизимининг техник хужжатлари ва ишлаб чиқариш қурилмаларининг эксплуатация қилиш жараёнида тўпланган статистик маълумотлари асосида маълумотлар базаси (параметрик ва структуравий хусусиятлари бўйича граф чўққиларини танлаш учун электр таъминоти тизимининг иерархик тузилишининг беши сатҳли субграфлари; ҳар хил сатҳдаги элементларни бирлаштирувчи марирутлар; электр таъминоти тизими элементларининг таиқи, ички ва чиқиш параметрлари;) шакллантирилган. телекоммуникация электр таъминоти тизимидаги автоматлаштирилган бошқарув тизимларини лойиҳалаш алгоритми тўрт босқичда амалга оширилган, улар I-босқич – алгоритмга мувофиқ барча беши та иерархик сатҳдаги граф чўққилари сонини параметрик оптималлаштириш, II босқич – параметрик-структуравий оптималлаштириш, бунда I-босқич натижасида танланган элементлардан схема ечимлари ҳосил қилинади, III-босқич – параметрик-структуравий оптималлаштириш, электр тармоғи схемалари мумкин бўлган марирутлар билан белгиланадиган электр тармоғининг архитектурасига мувофиқ танланади, IV-босқич – ўткинчи жараёнларни ҳисоблаш натижалари асосида электр узатиш тизимининг чиқиш параметрлари соланади.

Калим сўзлар: электр энергияси, электр таъминоти тизими, электр энергияси манбалари, энергия истеъмолчилари, параметрик-структуравий оптималлаштириш, оптималлаштириш алгоритмлари, морфологик тўплам, математик ва компьютер моделлари, лойиҳалаш алгоритмлари.

В статье разработан алгоритм проектирования автоматизированных систем управления в системах электроснабжения телекоммуникаций. В процессе создания алгоритма систем автоматизированного проектирования создана база данных на основе технических документов современной телекоммуникационной системы электроснабжения, а также статистических данных, собираемых в процессе эксплуатации производственных устройств. Пятиуровневые подграфы иерархической структуры электроснабжения формируют систему выбора вершин графа по параметрическим и структурным характеристикам; каждый маршрут, соединяет элементы разного уровня, в том числе внешние, внутренние и выходные параметры элементов системы электроснабжения. Алгоритм проектирования

автоматизированных систем управления в системах электроснабжения телекоммуникаций реализуется в четыре этапа: I этап - параметрическая оптимизация числа вершин графа на всех пяти иерархических уровнях согласно алгоритму, II этап - параметрически-структурная оптимизация, на котором из выбранных элементов в результате этапа I формируются схемные решения, III этап – параметрически-структурная оптимизация, схемы электросетей выбираются в соответствии с архитектурой электросети, определяемой возможными маршрутами, IV этап – выходные параметры системы электропередачи корректируются по результатам расчетов переходных процессов.

Ключевые слова: электроэнергия, система электроснабжения, источники электроэнергии, потребители энергии, параметрически-структурная оптимизация, алгоритмы оптимизации, морфологическое множество, математические и компьютерные модели, алгоритмы проектирования.

The article develops an algorithm for designing automated control systems in the telecommunications power supply system. In the process of creating an algorithm for computer-aided design systems, a database was created based on technical documents of a modern telecommunication power supply system and statistical data collected during the operation of production devices ((five-level subgraphs of the hierarchical structure of power supply, a system for selecting graph vertices according to parametric and structural characteristics is formed), (each route , connecting elements of different levels), (external, internal and output parameters of the elements of the power supply system). The algorithm for the design of automated control systems in the telecommunications power supply system is implemented in four stages, Stage I - parametric optimization of the number of graph vertices at all five hierarchical levels according to the algorithm, II stage - parametric-structural optimization, at which circuit solutions are formed from the selected elements as a result of stage I, stage III - parametric-structural optimization, power grid diagrams are selected in accordance with the architecture of the power grid, determined by possible routes, stage IV - output parameters of the power transmission system are adjusted according results of calculations of transient processes.

Keywords: electricity, power supply system, electricity sources, energy consumers, parametric-structural optimization, optimization algorithms, morphological set, mathematical and computer models, design algorithms..

Кириш. Хар кандай жамиятнинг иктисодий ривожланишида энергетик ресурслардан самарали фойдаланиш унинг мустаҳкам ривожланишининг асосий омилларидан бири ҳисобланади. Электр энергиясини ишлаб чиқариш, ўзгартириш, узатиш, тақсимлаш ва истеъмол қилиш объектларида электр станциялари, подстанциялари, тармоқлари, қурилмалари ва электр таъминоти тизимларини лойиҳалаш, монтаж қилиш, созлаш, таъмирлаш, ишлатиш, уларда синовларни ўтказиш, техник хизмат кўрсатиш, ростлаш, диспетчерлаш, автоматлаштирилган ва автоматик бошқариш, истеъмол қилишга оид муҳандислик масалаларини ечиш, алгоритмлаш ва математик таъминотни яратиш, технологик ечимларни ишлаб чиқиш

бу тармоқда саноатни юксак даражада ривожлантиришнинг асосий вазифалари саналади. Телекоммуникация қурилмаларининг рақамли технологияларга ўтиши билан электр энергияни ва уни ўзгартириш сифатига қўйиладиган талаблар ортиб бормоқда. Телекоммуникация қурилмаларини модернизация қилишда молиявий харажатларни камайтириш учун мавжуд ерга улаш қурилмалари, шамоллатиш ва ҳавони тозалаш тизимлари ва электр тармоғининг тузилишини сақлаб қолган ҳолда электр қурилмаларини қисман ўзгартириш кифоя. Телекоммуникация электр таъминоти тизимида бундай лойиҳалаштиришни амалга оширишда параметрик-структуравий оптималлаштириш амалга оширилади [1, 3, 7].

Асосий қисм. Автоматлаштирилган лойиҳалаш тизимларининг ишлаш алгоритмини яратиш учун замонавий электр таъминот тизимининг (ЭТТ) техник хужжатлари ва ишлаб чиқариш қурилмаларининг эксплуатация қилиш жараёнида тўпланган статистик маълумотлари асосида маълумотлар базасини шакллантириш зурур. Маълумотлар базаси қуйидагиларни ўз ичига олиши керак [2, 4]:

- параметрик ва структуравий хусусиятлари бўйича граф чўққиларини танлаш учун электр таъминоти тизимининг иерархик тузилишининг беш сатҳли субграфлари;
- ҳар хил сатҳдаги элементларни бирлаштирувчи маршрутлар;
- электр таъминоти тизими элементларининг ташқи, ички ва чиқиш параметрлари.

Электр таъминоти тизими моделининг субграф кўринишида тақдим этилиши ҳар бир сатҳда вариантларни аниқ танланишига ва уларнинг сонини аниқлашга имкон беради.

Таҳлил қилинаётган структуранинг морфологик анализи морфологик тўплам таркибига кирувчи бир қатор муқобил ечимларини олиш имконини беради. Бундай тўплам ЭТТ макромоделининг барча мавжуд ва потенциал мумкин бўлган структуравий ечимларини ўз ичига олади. ЭТТларнинг морфологик тўпланининг хилма-хиллиги туфайли морфологик синтез комбинаторик хусусиятга эга, шунинг учун қўйилган муаммони ҳал қилишда эвристик усулдан фойдаланамиз. ЭТТ учун, унинг қурилиши моҳиятига кўра, конструкцияни куриш усулларидан энг яқини дарахт шаклда конструкциялаш усули бўлиб, у босқичма-босқич қурилиш жараёнини симуляция қилади. Агар ЭТТ структурасига қўшимча равишда ушбу структурани ташкил этувчи элементларининг параметрларини топиш керак бўлса, моделлаштирилаётган ЭТТнинг структура ва параметрларини аниқлаш имконини берувчи структуравий-параметрик синтездан фойдаланамиз. Синтез қилиш структура ва параметрларни топиш учун аниқ алгоритмни таъминлайдиган аналитик усуллар ёрдамида ва сонли ёки оптималлаш усуллари ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Аналитик усуллар оптимал қурилмани олишга имкон беради, лекин синтез алгоритми ёпиқ шаклда берилади. Бундай усуллар барча техник қурилмалар учун қўлланилмайди, улар асосан пассив электр занжирлар учун ишлаб чиқилади. Синтезнинг сонли ёки оптималлаш усуллари етарлича мослашувчан бўлиб улар синтез қилинаётган техник қурилмаларнинг деярли ҳар қандай синфларига амалий қўллаш мумкин. Бу усуллар ишлаб чиқилган ва амалда асосан параметрик синтез алгоритмлари учун қўлланилади. Структуравий – параметрик синтез алгоритмлари

фақат электротехник қурилмаларнинг тор синфлари учун ишлаб чиқилган. Оптималлаштириш алгоритмлари ёрдамида ЭТТни синтез қилиш муамоларини икки гуруҳга бўлиш мумкин [6, 5]:

1) берилган ЭТТ структурасининг элементлари параметрларини шундай аниқлаш керакки, тизим ва унинг қурилмалари ҳар қандай мезонлар бўйича оптимал бўлсин;

2) ЭТТ элементларининг структура ва параметрларини шундай танлаш керакки, характеристикалари бўйича берилган минимал чекловларни қондирсин.

Биринчи гуруҳ параметрик оптималлаштириш усуллари билан ечиладиган параметрик синтез муаммоларини, иккинчи гуруҳ структуравий - параметрик синтез муаммоларини назарда тутлади. Агар биринчи гуруҳ муаммолари яхши ўрганилган бўлса, унда иккинчи гуруҳнинг муаммолари асосан пассив элементлари бўлган оддий техник қурилмаларнинг айрим синфлари учун ечилади. Бу алгоритмларни ишлаб чиқиш ва амалга оширишга тўсқинлик қилувчи сабаблардан бири етарли математик ва компьютер моделларининг йўқлиги ҳисобланади, чунки параметрик ва структуравий-параметрик синтез моделларига қўйиладиган талаблар сезиларли даражада бир биридан фарқ қилади. Параметрик синтезда: моделнинг структураси ўрнатилади ва синтез вақтида ўзгармайди, фақат параметрлар ўзгаради ва уларни қидириш параметр векторининг ўлчами аниқланган параметр оралиғида амалга оширилади. Структуравий-параметрик синтезда: моделнинг тузилиши олдиндан номаълум бўлиб ва у синтез қилиш жараёнида ҳосил бўлади. Бундай ҳолда ЭТТнинг тузилиши ҳам, параметрлари ҳам ўзгаради ва ечимларни қидириш структуралар ва параметрлар оралиғида амалга оширилади. Параметр векторининг ўлчамлари олдиндан номаълум ва ЭТТнинг структураси аниқлангандан кейингина аниқланиши мумкин. Шунинг учун структуравий-параметрик синтез алгоритмининг ишлашини таъминлаб беришда қўйидагилар зарур:

1) ЭТТнинг морфологик тўпламидан моделни автоматик шакллантириш механизмини яратиш;

2) танланган структуралар учун параметр векторининг ўлчамини ҳисоблаш механизмини яратиш;

3) параметрлар векторини оптимизатордан синтезланаётган тизим моделига юклаш механизмини яратиш;

Бу талабларга жавоб берадиган моделлар бир нечта қурилмалар синфини ўз ичига олади. Бу моделлар, характеристикаларни ҳисоблаш имкониятидан ташқари, тадқиқ қилинаётган синфга тегишли синтез қилинаётган объектларнинг структураси ҳақида ноаниқ маълумотни ўз ичига олади, шунинг учун улар универсал моделлар ҳисобланади. Бундай ёндашув тадқиқотчини эътиборини тортади, чунки у электр таъминоти тизимини иерархик сатҳларга осонгина ажратиш ва унинг ечимини топишда ҳар бир сатҳларида энг мақбул оптималлаштириш усуллари қўллаш имконини беради [5].

Морфологик тўплам элементларининг спецификацияси учун \vec{C} , \vec{X} ва \vec{V} векторларини аниқлаймиз: ЭТТнинг ташқи, ички ва чиқиш параметрлари. ЭТТнинг *ташқи параметрлари* унинг фаолиятига таъсир этувчи ташқи муҳитни тавсифлайди,

уларга ўзгарувчан ток электр энергияси манбалари, энергия истеъмолчилари (ишлаб чиқариш объекти қурилмалари) ва атроф-муҳит параметрлари киради.

Ташқи параметрларнинг \vec{C} вектори қўйидаги кўринишга эга:

$$\vec{C} = \left\{ U_{1\phi}, U_{3\phi}, f, \delta U_1, \delta U_{1t}, P_{1t}, k_{U_1}, k_{U_{1(n)}}, k_{2U_1}, k_{0U_1}, \Delta f_1, \Delta t_{U_1}, \right. \\ \left. U_{ИМП}, k_{KOU_1}, I_{НОМ}, I_{КТ}, I_{ИМП}, Z_{Ю}, T_{АМ}, r_{АМ}, V_{АМ}, C_1, C_2 \right\}$$

У қўйидагиларни ўз ичига олади: электр энергиясини ўзгартириш тизимининг номинал параметрлари (f частотали бир ёки уч фазали ўзгарувчан ток кучланиши $U_{1\phi}$, $U_{3\phi}$), юклама параметрлари (юклама токи $I_{ном}$, тўлиқ қаршилик), техник-иқтисодий кўрсаткичлари (электр энергия истеъмоли учун тарифлар C_1 , C_2) ва иқлим омилларининг таъсири (атроф-муҳит ҳарорати $T_{АМ}$, нисбий намлик $r_{АМ}$, ҳаво ҳаракатининг тезлиги $V_{АМ}$). Тизим ичидаги шовқинларга халақитбардошлигини баҳолашда \vec{C} га энергияни ўзгартириш сифатининг энергетик кўрсаткичлари киритилган:

$$\delta U_1, \delta U_{1t}, P_{1t}, k_{U_1}, k_{U_{1(n)}}, k_{2U_1}, k_{0U_1}, \Delta f_1, \Delta t_{U_1}, U_{ИМП}, k_{KOU_1}, I_{КТ}, I_{ИМП}$$

Чиқиш параметрлари қўйидаги вектор шаклида келтирилган:

$$\vec{V}_{ЭТТ} = \left\{ \underbrace{\eta, \Delta P, S_{кпр.}, \lambda, K_{Э}, K_{ТТ}, \nu, K_a, k_{П}, K_S, U_{Ю}}_{\text{энергетик}}, \underbrace{\lambda, P_{(t)}, K_{Э}, T_0}_{\text{ишончлик}}, \underbrace{C_M, C_V, C_1, C_2, M_S, V_S}_{\text{иқтисодий}} \right\};$$

бу ерда сифат кўрсаткичлари электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини, шовқин таъсирига халақитбардошлиги, ЭТТнинг ортиқча юкланиш қобилиятини тавсифлайди [4].

ЭТТ бошқарув тизимларини лойиҳалаш учун ишлаб чиқилган алгоритм (1-расм) ўзаро боғлиқ бўлган тўртта босқичдан иборат.

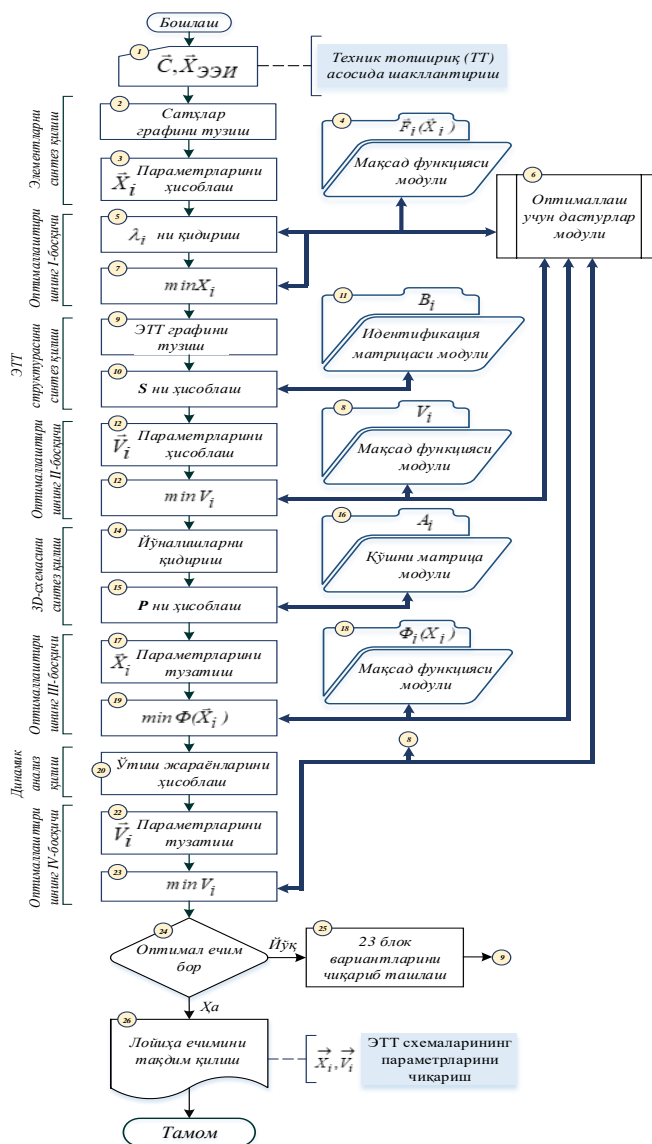
I босқич – алгоритмга мувофиқ барча бешта иерархик сатҳдаги граф чўққилари сонини параметрик оптималлаштириш.

II босқич – параметрик-структуравий оптималлаштириш, бунда 1-босқич натижасида танланган элементлардан схема ечимлари ҳосил қилинади.

III босқич – параметрик-структуравий оптималлаштириш, электр тармоғи схемалари мумкин бўлган маршрутлар билан белгиланадиган электр тармоғининг архитектурасига мувофиқ танланади.

IV босқич – ўткинчи жараёнларни ҳисоблаш натижалари асосида электр узатиш тизимининг чиқиш параметрлари соланади.

Телекоммуникация электр таъминоти тизимидаги автоматлаштирилган бошқарув тизимларини лойиҳалаш алгоритминини яратиш учун параметрик-структуравий характеристикалари асосида элементларни танлаш учун электр таъминоти тизимининг беш сатҳли граф, турли даражадаги субграфларини боғловчи маршрутлар, электр таъминоти тизимининг ички, ташқи ва чиқиш параметрлари ҳисоблаб чиқилди.



1-расм. Электр таъминоти автоматлаштирилган лойиҳалаш тизимининг алгоритми

Адабиёт

1. Қодиров Ф. Морфологик таҳлил орқали телекоммуникация электр таъминоти тизимининг кўп сатҳли моделини ишлаб чиқиш. Актуальные проблемы системы электроснабжения / Сборник трудов международной научно - технической конференции. – Ташкент. ТашГТУ, 2023. – С. 165-167.

2. Qodirov F., Qodirova S. Algorithms of determining the optimal structure of a telecommunications power supply system based on morphological synthesis //International journal of human computing studies. – 2023.

3. Қодиров Ф., Саидова Г. & Агзамова М. (2022). Телекоммуникация электр таъминотидаги автоматлаштирилган бошқарув тизимларини лойиҳалаш алгоритмини ишлаб чиқиш. "Science and Innovation" халқаро илмий журнали А серияси. Volume 1 Issue, 1(8), 567-577.

4. Амурова Н.Ю., Абдуллаева С.М., Борисова Е.А., Кадиров Ф.М., “Выбор метода оценки показателей надежности для схем электроснабжения”, IJSTR, vol. 1, no. 1, pp. 200–204, Oct. 2022.

5. Сапаев М., Қодиров Ф.М. (2022). Электр таъминоти тизимининг телекоммуникация бъекти билан ўзаро таъсир механизми. //Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари, 1, 19.

6. Борисова Елена, Амурова Наталия, Кодиров Фазлиддин, Абдуллаева Сурайё. Моделирование и исследование гармонических составляющих тока и напряжения в электрических сетях // Universum: технические науки. 2022. -№2-7 (95).

7. Umarov S., Maxammatov D., Akhunov F., & Qodirov F. (2021, November). The mathematical model for calculating transient modes of a valve converter. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2402, No. 1). AIP Publishing.

*Менежмент ва замонавий технологиялар
университети томонидан тақдим этилган*

УДК 621.365

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**А.А. Пулатов, Н.З. Махмудов, О.А. Обидов, К.А. Бобониёзов**

Мақолада Ўзбекистон металлургик корхоналаридаги ўрта қувватли электр қиздириш печларининг ишлаб чиқаришида тутган ўрни ва уларнинг автоматик бошқариш хусусиятлари ва электр таъминот схемаларидаги фаолияти таҳлил қилинган, ҳамда уларнинг АБТ функционал имкониятлари ҳам кўриб чиқилган.

Калим сўзлар: ўрта қувватли қиздириш печлари, электр таминости схемалари, бошқарув тизими.

В статье анализируется система автоматического регулирования нагревательных электрических печей средней мощности, рассмотрены функциональные возможности данной системы. Электрические печи являются одними из энергоёмких электротехнологических установок на предприятиях Республики Узбекистан.

Ключевые слова: нагревательные электрические печи средней мощности, схемы электроснабжения, система управления.

The article analyzes the automatic control system for medium-power electric heating furnaces and examines the functionality of this system. Being one of the energy-intensive electrical technological installations in the enterprise of the Republic of Uzbekistan.

Key words: heating electric furnaces of medium capacity, power supply schemes, control system.

Одними из основных потребителей электрической энергии металлургических предприятиях являются установки термического оборудования, состоящие из нагревательных и плавильных печей. Степень использования электротехнологических установок - около 7-9 % от общего объёма вырабатываемой энергии. Во время экспресс-обследования была отмечена необходимость дополнительного углубленного анализа баланса электрической энергии в цехах и отделах производственных предприятий, что позволит объективно оценить потенциал и резервы экономии электрической энергии.

Нагревательные электрические печи предназначены для проведения аналитических работ с различными материалами и различных видов термообработки при температуре до 1000 °С в стационарных условиях. Печи состоит из несущего каркаса, в верхней части которого установлен нагревательный блок из огнеупорной теплоизоляции, в которую впрессован нагреватель. Рабочая камера печи образована нагревательным блоком и уплотнителем двери. Нагреваемое изделие

устанавливается на пол камеры нагрева. Загрузку и выгрузку изделия производят через дверцу, имеющую ручной или электромеханический привод.

Основными недостатками технологического процесса нагрева металла в печах является:

1. Время нагрева стальных заготовок в нагревательных печах до заданной температуры (или скорости нагрева) зависит от способа легирования стали, способа укладки заготовок физических свойств металла (теплопроводности, теплоёмкости и температуропроводности) и ряда других факторов, но даже при оптимальном сочетании вышеперечисленных параметров период нагрева заготовок в печах является большим и одним из главных недостатков нагрева металла в печах.

2. Отсутствие системы контроля температуры на момент выдачи заготовок в печи создаёт определенные сложности в обработки металла после его нагрева.

Необходимость такой системы обусловлена тем, что при её отсутствии создаётся возможность получения перегретого или недогретого металла, что, в свою очередь, негативно отражается на протекании дальнейшего технологического процесса.

3. При нагреве в пламенных или электрических печах поверхность деталей соприкасается с печными газами. В результате металла окисляется и на деталях образуется окалина. С повышением температуры и времени выдержки степень окисления резко возрастает. Образование окалины вызывает угар (потерю) металла и искажает геометрическую форму деталей.

Поверхность стали под окалиной получается разъеденной и неровной, что затрудняет обработку металла режущим инструментом. Окалину с поверхности деталей удаляют травлением в серной кислоте или очисткой в пескоструйных установках. Образовавшиеся угар металла, копоть и дым при эксплуатации печей, неблагоприятно воздействуют на экологию в целом.

В частности, содержащиеся вредные вещества в дыме оказывают вредное влияние на здоровье рабочего персонала. Необходимость применения систем дымоудаления из-за негативного воздействия дыма является экономическим минусом, а также недостатком с точки зрения занимаемой производственной площади.

Таким образом, недостатками нагревательных печей являются продолжительное время нагрева и большая потеря металла, уходящего в окалину, неблагоприятное воздействие на экологию, отсутствие системы контроля температуры на момент выдачи заготовок из печи, большие габариты печей, а также большой расход электроэнергии, приводящие к неэкономичности и неэффективности процесса.

В процессе работы печи для нагрева металла должны обеспечить нагрев до соответствующей температуры, минимальный угар металла, низкий расход электроэнергии и максимальную производительность, т.е. главными факторами эксплуатации должны быть экономичность и выполнение требований экологического характера, а также сокращение трудовых затрат.

Установление системы контроля температуры в момент выдачи заготовок поможет контролировать процесс нагрева, исключить возможность получения недогретого или перегретого металла, что положительно отразится на процессе дальнейшей обработки. Оптические датчики будут осуществлять контроль за нахождением заготовки внутри индуктора или вне его, и посылать сигнал на управляющую машину, которая обработает информацию и выдаст команду на выключение-включение индуктора. Блок датчиков, расположенных в тиристорных преобразователях частоты, предназначен для формирования сигналов синхронизации обратной связи, защиты сигнализации и для электрической развязки ПК от силовой схемы.

Благодаря подключению компьютера возрастет скорость обработки информации, поступающей с датчиков и пирометров всего технологического процесса, существенно уменьшит время протекания всего технологического процесса, существенно уменьшит трудовые затраты и сведет к минимуму роль человека.

Электрические печи подключаются непосредственно к цеховой электросети напряжением 220/380 с частотой 50 Гц и питаются от специального понизительного трансформатора. Для управления электротермическим оборудованием выпускались серии однозонных щитов управления (ИР, ИРМ, ИЗР, ИЗРП). Щиты управления предназначены для дистанционного включения нагревателей, контроля и регулирования температуры тепловой зоны электрической печи. Силовое оборудование щита состоит из трёхполюсного автоматического выключателя для защиты от токов к.з, возможных перегрузок и трёхполюсного силового контактора. В контрольно-регулирующую часть щита входят: прибор теплового контроля, промежуточный контактор ручного переключения, универсальный переключатель для включения нагревателей на ручной или автоматический режим работы, автоматический выключатель для отключения и защиты цепей управления.

Вышеприведенная коммутационная аппаратура подключалась к разным ответвлениям трансформатора, который осуществлял дискретное регулирование электрических печей сопротивления. Следовало бы отметить, что контактор всегда работает совместно с промежуточным реле, что несколько увеличивает время срабатывания. Кроме этого, эти коммутационные аппараты, являются нелинейными элементами с релейными характеристиками, а также имеют малый ресурс работы при частых включениях и отключениях, малую допустимую частоту переключений (600-1200 в час), сложность эксплуатации, обусловленную необходимостью частых профилактических осмотров и ремонтов, особенно контактов создают сильный шум или хлопанье при срабатывании.

Поэтому электромагнитные контакторы пригодны для позиционного регулирования температуры печей сопротивления, но не могут быть использованы при плавном регулировании.

Тиристорные преобразователи получили широкое применение в системах управления электрических печей сопротивления и входят в состав, как прецизионных регуляторов температуры, так и регуляторов общепромышленного назначения,

выполняемых однофазными при мощности до 200 кВт и трёхфазными - до 590 кВт. Тиристорные регуляторы напряжения для печей сопротивления обеспечивает каждой фазе, при соединении нагрузки по схеме звезда с выведенным нулем или треугольник, независимую работу фаз.

Принцип работы регулятора основан на изменении угла отпирания силовых тиристорных, величина которого определяется в зависимости от величины внешнего управляющего сигнала, подаваемого на вход тиристорного регулятора напряжения. Преимущества применения тиристорных регуляторов напряжения основаны на конструктивных особенностях изделия: блочно-модульная схема тиристорных регуляторов напряжения доступна при наладке и обслуживании, допускает замену блоков без дополнительной регулировки. Защита настроек регулятора исключает последствия вмешательства или несанкционированного отключения сети.

Блок управления и контроля энергетического режима устройства для нагрева содержит систему датчиков, исполнительных органов и контрольно-измерительных приборов. В качестве контрольно-измерительных приборов используются пирометры, которые измеряют текущую температуру нагреваемого тела и посылают информацию на управляющую машину. Пирометры устанавливаются внутри камеры. Система датчиков, установленных на входе нагревательного элемента, производит контроль параметров протекания процедур загрузки и выгрузки заготовок.

Преимущества полупроводников тиристорных преобразователей частоты: коэффициент полезного действия на 7-15% выше, чем машинных; мгновенная готовность к работе; возможность регулировать нужные параметры, что позволяет создавать оптимальные режимы нагрева; малое время простоев, связанных с ремонтом; малые весовые нагрузки; меньшая потребность в охлаждающей воде.

Дистанционное управление тиристорных регуляторов напряжения допускает раздельное регулирование в фазах (группы нагревателей). Он состоит в том, что включение тиристора всегда происходит в самом начале полупериода, когда напряжение переходит через ноль. Регулировка мощности производится путем исключения отдельных полупериодов. Этот процесс показан на следующем рис. 1.

На рисунке мы видим, что все полупериоды с первого по пятый тиристор беспрепятственно открывается. Затем, во время прохождения шестого полупериода сигнал управления с тиристора снимается, и напряжение на выход не поступает. В начале седьмого полупериода сигнал управления опять включается. Для реализации подобного метода разрабатываются целые схемы исключения полупериодов. Недостатком такого способа является то, что подобным образом затруднительно регулировать мощность свечения электрической лампы. Лампа будет заметно мерцать. Но для регулировки мощности нагревательного элемента этот способ является самым оптимальным [7].

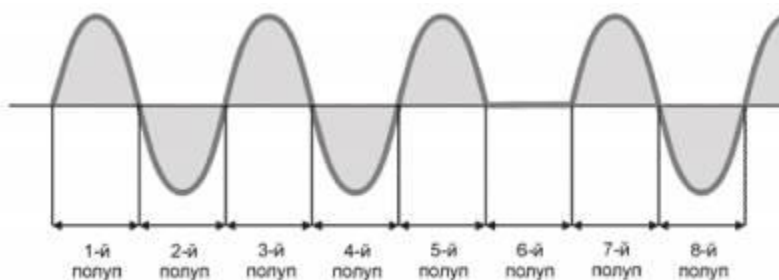


Рис.1. Полупериоды сигнала управления

Разработанный регулятор предназначен для плавного регулирования действующего напряжения активной, активно-индуктивной нагрузки вручную или дистанционно, в стандартной сети напряжением 220/380 В с частотой 50 Гц. Функции, реализованные в тиристорных регуляторах напряжения, - регулирование напряжения производится в каждой фазе отдельно (или совместно) в процентах от номинального входного напряжения. Эта функция реализуется вручную кнопками на панели управления тиристорных регуляторов напряжения или дистанционно внешним токовым сигналом.

Область применения - управление нагревательными и плавильными установками различного назначения. Пуско-наладочные работы с тиристорным регуляторами напряжения доступны электромонтеру, выполняющему требования правил техники безопасности в электроустановках до 1000 В [2].

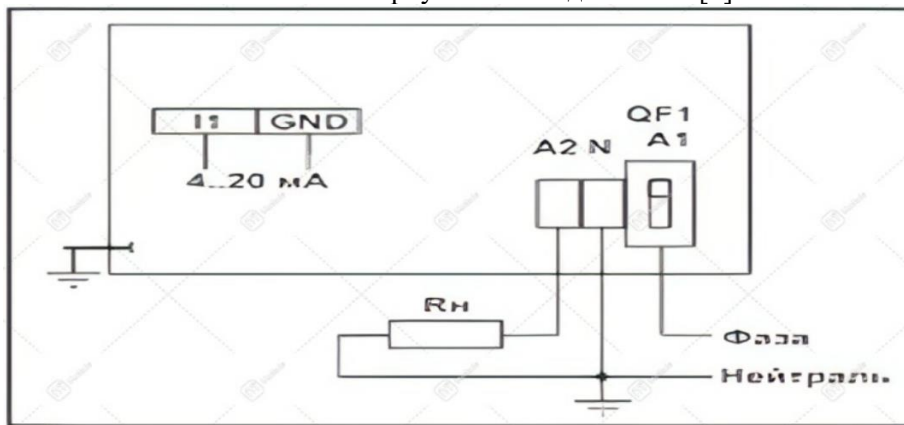


Рис.2. Схема соединения регулятора

Таким образом, функции управления температурным режимом электрической печи сопротивления, выполняемые с помощью локальных систем управления, могут быть реализованы на базе вычислительной микропроцессорной техники. Микропроцессорная техника позволяет оптимизировать технологические процессы нагрева во всех случаях, когда меняются условия внешнего воздействия на процесс,

адаптировать систему управления к меняющимся условиям, обеспечивая оптимизацию процесса управления.

Ряд выше перечисленных преимуществ создаёт благоприятную почву для применения автоматизированных установок электрического нагрева на производстве вместо габаритных газопламенных печей.

Литература

1. Блинов А.С. и др. Современные энергосберегающие электротехнологии. Учебное пособие для ВУЗов. С – П.: 2000г. 586 стр.
2. Хашимов А.А. Фазовый метод регулирования. //Вестник ТашГТУ. 2004.
3. 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.
4. Кручинин А.М. и др. Автоматическое управление электротермическими установками. Учебное пособие для ВУЗов. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -416 с.
5. Свенчанский А.Д. Промышленные печи. М.: Энергия, 1982. 328 с.
6. A.A. Pulatov. Basic energy-saving principles at the enterprises of public catering. E3S Web of Conferences 216, 01136 (2020).
7. A.A. Pulatov, B.M. Mamadaliyev, H.A. Mo'minov. Application of equivalent thermal circuits for calculation of thermal processes of induction crucible furnaces with a capacity of up to 1000 kg. Web of Conferences Volume 289 (2021) International Conference of Young Scientists "Energy Systems Research 2021" Irkutsk, Russia, May 25-28, 2021.
8. A.A. Pulatov, J.B. Bekmuradov, O.O. Zaripov. Features of using linear graphs in developing mathematical model of metal melting process in induction crucible furnace. E3S Web of Conferences Volume 289 (2021) International Conference of Young Scientists "Energy Systems Research 2021" Irkutsk, Russia, May 25-28, 2021.
9. Pulatov A.A., Shaimiev M.F., Mirsaidov U.M. Automation of production mechanisms using energy-efficient asynchronous electric drives based on intelligent converter technology. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2388(1), 012127
10. Khashimov A.A., Imomnazarov A.T., Pulatov A.A. Mathematical model of metal melting processes in crucible furnaces / International Symposium on Heating by Electrothermic Sources. – Padua (Italy), 2004. – № 4 June 22-25. – P. 52-55.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ****Ш.Дж. Джураев, С.Т. Исмоилов, Р.Ч. Каримов, Д.Ш. Хушвактов**

Мақолада 0,4 кВ кучланишли электр тармогини ишлатиш жараёнида кучланишининг носимметрияси юзага келиши мумкинлиги тушунтирилган. Маълумки, 0,4 кВ кучланишли электр тармоқзининг носимметрик ишлатиш фазалар орасидаги юкламаларнинг нотекис тақсимланиши билан боғлиқдир. Бу ўз навбатида уч фазали тўрт симли электр тармогида нол кетма-кетлик токини нейтрал ўтказгич орқали оқишига олиб келади. Бошиқа томондан, ночизиқли вольт-ампер характеристикали электр истеъмолчилар электр тармогининг носимметрик ишлатиш пайтида, нейтрал ўтказгичдан юқори гармоникали тоқлар оқади. Шунинг учун ночизиқли юклама билан уч фазали электр тармогининг симметрик иш режимларини таҳлил қилиш долзарб вазифадир. Мақолада 0,4 кВ кучланишли истеъмолчилар электр таъминоти тизимида электр энергияси сифатини тадқиқ қилиш учун маиший истеъмолчилар юкламасининг хусусиятлари келтирилган. Уч фазали электр тармогининг иш режимини тўлиқ баҳолаш учун носинусоидал юламали 0,4 кВ кучланишли тармоқнинг бир қисми учун имитацион модель ишлаб чиқилган. Шунингдек, ночизиқли вольт-ампер характеристикали истеъмолчилари мавжуд электр тармогини симметрик ишлатишда нол кетма-кетлик тоқининг юқори гармоник ташиқил этувчиларини ҳисобга олиш тавсия этилган. Бундан ташқари, кабелнинг қизиш ҳароратини аниқлаш учун нейтрал ўтказгич тоқининг гармоник ташиқил этувчини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган.

Калит сўзлар: носимметрия, носинусоидаллик, имитацион модель, электр энергиясининг сифат кўрсаткичи, юклама, юқори гармоника, вольт-ампер характеристика, нол кетма-кетлик, нолли ўтказгич, электр тармоги, кучланиш, ток, частота.

В статье поясняется, что в процессе использования электрической сети 0,4 кВ может возникнуть несимметрия напряжения. Известно, что несимметричная работа электрической сети 0,4 кВ обусловлена неравномерным распределением нагрузок между фазами. Это, в свою очередь, вызывает протекание тока нулевой последовательности через нейтральный проводник в трехфазной четырехпроводной сети. С другой стороны, у потребителей электроэнергии с нелинейными вольт-амперными характеристиками при симметричной работе электрической сети через нейтральный проводник протекают токи высших гармоник. Поэтому актуальной задачей является анализ симметричных режимов работы трехфазной электрической сети с нелинейной нагрузкой. В статье представлены характеристики нагрузки бытовых потребителей для исследования качества электроэнергии в системе электроснабжения потребителей 0,4 кВ. Для полной

оценки режима работы трехфазной электрической сети была разработана имитационная модель участка сети напряжением 0,4 кВ с несинусоидальной обмоткой. Также рекомендуется учитывать высокие гармонические составляющие тока нулевой последовательности при симметричной работе существующей электрической сети с потребителями с нелинейными вольт-амперными характеристиками. Кроме того, разработан алгоритм расчета гармонической составляющей тока нейтрального проводника для определения температуры нагрева кабеля.

Ключевые слова: несимметрия, несинусоидальность, имитационная модель, качество электроэнергии, нагрузка, высшая гармоника, вольт-амперная характеристика, нулевая последовательность, нулевой проводник, электрическая сеть, напряжение, ток, частота.

The article explains that when using a 0.4 kV electrical network, voltage asymmetry may occur. It is known that the asymmetrical operation of the 0.4 kV electrical network is due to the uneven distribution of loads between phases. This, in turn, causes a zero-sequence current to flow through the neutral conductor in a three-phase four-wire network. On the other hand, for consumers of electricity with nonlinear current-voltage characteristics, with symmetrical operation of the electrical network, higher harmonic currents flow through the neutral conductor. Therefore, an urgent task is to analyze the symmetrical operating modes of a three-phase electrical network with a nonlinear load. The article presents the load characteristics of household consumers to study the quality of electricity in the power supply system for 0.4 kV consumers. To fully assess the operating mode of a three-phase electrical network, a simulation model of a 0.4 kV network section with a non-sinusoidal winding was developed. It is also recommended to take into account the high harmonic components of the zero-sequence current during symmetrical operation of the existing electrical network with consumers with nonlinear current-voltage characteristics. In addition, an algorithm has been developed for calculating the harmonic component of the neutral conductor current to determine the heating temperature of the cable.

Key words: asymmetry, non-sinusoidality, simulation model, power quality, load, highest harmonic, volt-ampere characteristic, zero sequence, neutral conductor, electrical network, voltage, current, frequency.

Введение. В составе коммунально-бытовой нагрузки в последние годы существенно выросла доля электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой. При работе такие электроприемников искажают синусоидальный ток, который, протекая по элементам электрической сети, искажает синусоиду напряжения сети. Несинусоидальность напряжения сети отрицательно влияет на функционирование электрооборудования, вызывая его износ и сокращая срок службы. Вопросы несинусоидальности напряжения в электрических сетях 0,4 кВ и его влияния на работу электроприёмников рассмотрены во многих работах. В электрических сетях 0,4 кВ нагрузки по фазам распределены неравномерно, что

вызывает несимметрию напряжения. Несимметрия нагрузки по фазам усиливает негативный эффект на элементы электрической сети. Особенно это сказывается на уже эксплуатируемых сетях, к которым подключается новая нелинейная нагрузка. Дополнительный нагрев приводит к ускоренному старению изоляции кабельных линий, что снижает надежность электроснабжения в целом. В статье приведен анализ последствий несимметричности нагрузки в электрических сетях. При этом несимметричному режиму работы электрической сети коммунально-бытового назначения в опубликованных работах не уделено должного внимания. Поэтому актуальным является анализ несимметричных режимов работы электрических сетей с электроприёмниками, имеющими нелинейную вольт-амперную характеристику [1].

Известно, что при несимметричном режиме работы линейных электроприёмников в низковольтной четырехпроводной электрической сети, ток в нулевом проводнике будет формироваться за счет тока нулевой последовательности основной частоты, а при симметричном режиме работы сети, содержащей электроприёмники с нелинейной вольт-амперной характеристикой - за счёт гармонических составляющих тока, кратных трём ($n=3k$), у которых отсутствует сдвиг фаз. Соответственно, согласно существующим методам расчёта тока нулевого проводника, при нелинейной и несимметричной нагрузке в рассматриваемой сети учитываются только токи нулевой последовательности основной частоты и высшие гармоники тока, кратные трём [1-4].

Тогда суммарный ток, протекающий через нулевой проводник в таких сетях, определяется выражением:

$$I_N = \sqrt[3]{I_{1(0)}^2 + \sum_{i=3}^{3n} I_i^2}; \quad (1)$$

где I_N – ток нулевого проводника, А; $I_{1(0)}$ – ток нулевой последовательности основной частоты, А; I_{3n} – высшая гармоническая тока, кратные трём, А.

Данной тематике посвящены исследования многих зарубежных и отечественных ученых. Анализ публикаций показал, что в нулевом проводнике при несимметричной и несинусоидальной нагрузке в расчётах учитывают ток, определяемый по формуле (1). Однако, есть теоретическое предположение о появлении в нулевом проводнике гармонических составляющих токов, не кратных трем. Цель данной работы - определение гармонических составляющих тока нулевого проводника, позволяющих оценить несимметричный режим работы городской распределительной сети с нелинейной нагрузкой [1, 5-7].

Разработка модели. Для анализа несимметричного и несинусоидального режима работы распределительной сети коммунально-бытового назначения и расчета гармонического состава тока в нулевом проводнике разработана имитационная модель в среде *Matlab/Simulink*. Объектом исследования является трансформаторная подстанция Байсунского районного электрических сетей, подключенная к подстанции «Байсун» (рис.1,а). Трансформаторная подстанция укомплектована масляным трансформатором типа ТМ-1000/10. РУ-0,4 кВ трансформаторной

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

подстанции питает вводно-распределительное устройство объекта кабелем 0,4 кВ марки ААШв (3x240+1x120) мм². Длина КЛ 0,4 кВ - 1050 м.

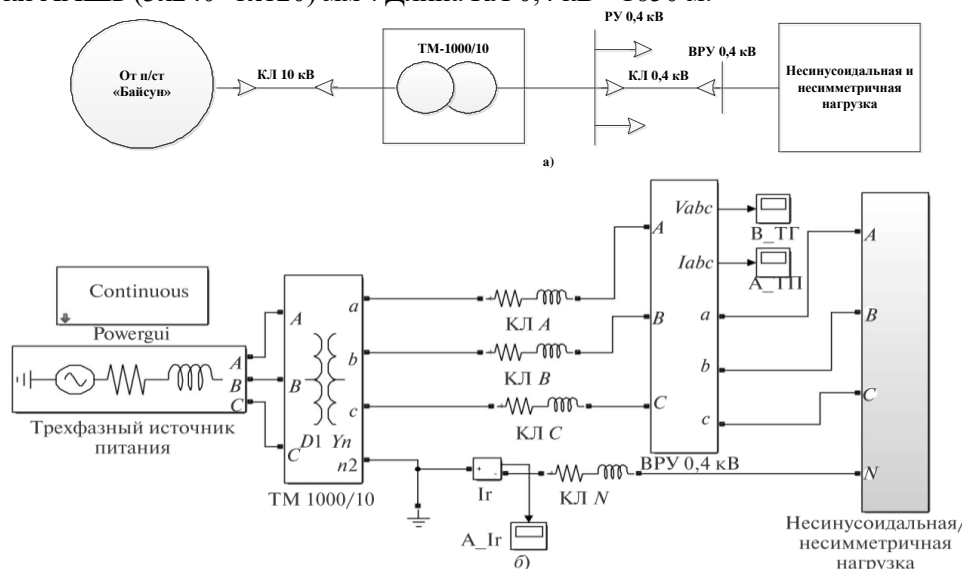


Рис.1. Схема исследуемого объекта (а) и общий вид *Matlab/Simulink*-модели системы электроснабжения коммунально-бытового назначения (б)

В качестве нагрузки коммунально-бытового назначения принята активно-индуктивная нагрузка высокэтажных жилых домов. Параметры элементов распределительной сети рассчитаны по их техническим данным.

Уровни высших гармоник тока, генерируемые электроприемниками с нелинейной вольт-амперной характеристикой, были получены в результате инструментального обследования коммунально-бытовых электроприемников [1, 5].

При разработке имитационной компьютерной модели были приняты следующие допущения:

- ёмкости между фазами, фазой и землёй кабельных линий не учитываются;
- в качестве источника питания выбран идеальный источник напряжения;
- токи намагничивания и потери в сердечнике трансформатора не учитываются;
- активное и индуктивное сопротивления трансформатора разделены поровну между обмотками высокого и низкого напряжения;
- физические факторы окружающей среды (температура, атмосферное давление и др.) не учитываются.

Принятые допущения не оказывают существенного влияния на результаты моделирования [1, 7-9].

В среде *Matlab/Simulink* расчет гармонических составляющих тока на шинах вводно-распределительного устройства и в нулевом проводнике 0,4 кВ исследуемой сети выполняется с помощью специального блока «расчет коэффициента несинусоидальности тока», использующего быстрое преобразование Фурье [1, 5]:

$$X(\omega t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(n\omega t) + B_n \sin(n\omega t)] \quad (2)$$

В общем виде для n гармоник:

$$X(\omega t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \varphi_n); \quad (3)$$

$$A_n \sqrt{A_n^2 + B_n^2}; \quad \varphi_n = \arctg\left(\frac{B_n}{A_n}\right); \quad (4)$$

где A_0 - постоянная составляющая; $A_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ - амплитуда n -го гармонического колебания; $\omega = 2\pi f$ - угловая частота основной гармоники; φ_n - начальный угол сдвига n -го гармонического колебания; t - время; n - номер гармоники.

Анализ результатов моделирования. Результаты моделирования распределительной электрической сети, содержащей нагрузку, подтвердили, что значение тока нулевого проводника больше значения тока, определяемого по выражению (1). Форма кривой тока нулевого проводника при несимметричной работе несинусоидальной нагрузки приведена на рис.2,а. Гармонический состав тока в нулевом проводнике, полученный при моделировании рассматриваемой сети, показан на рис.2,б.

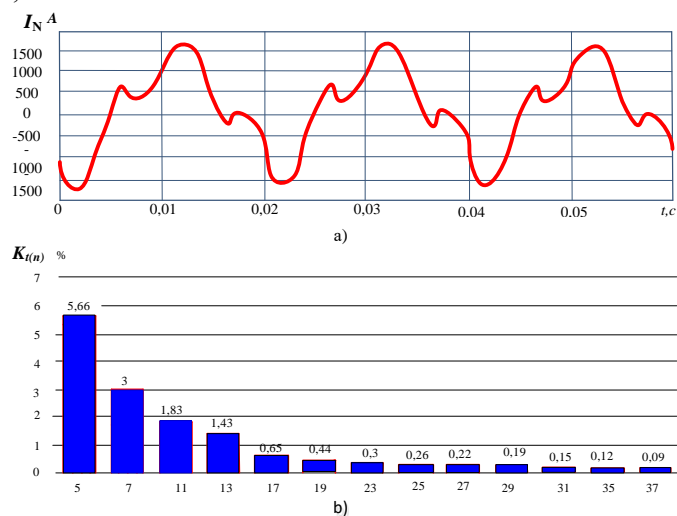


Рис.2. Кривая тока (а) и спектр нечетных гармоник тока, не кратных трем, (б) нулевого проводника

Известно, что токи высших гармоник, кратные $n=3k+1$, составляют систему прямой последовательности, токи высших гармоник, кратные $n=3k-1$ - систему обратной последовательности и токи высших гармоник, кратные $n=3k$ - систему нулевой последовательности. В свою очередь, при несимметричном режиме, гармонические составляющие тока также состоят из симметричных составляющих

тока прямой, обратной и нулевой последовательностей. Как видно из рис.2,б, при несимметрии нелинейной нагрузки в низковольтной четырехпроводной сети в нулевом проводнике, кроме тока основной частоты и высших гармоник тока кратные трём, присутствуют и высшие гармоники тока, не кратные трем. Следовательно, при несимметричном режиме несинусоидальной нагрузки в нулевом проводнике суммируются нечётные гармонические составляющие тока нулевой последовательности порядка $n=3k+1$ и $n=3k-1$:

$$\begin{cases} I_{1(n)} = \frac{1}{3}(I_{A(n)} + aI_{B(n)} + a^2I_{C(n)}); \\ I_{2(n)} = \frac{1}{3}(I_{A(n)} + a^2I_{B(n)} + aI_{C(n)}); \\ I_{0(n)} = \frac{1}{3}(I_{A(n)} + I_{B(n)} + I_{C(n)}); \end{cases} \quad (5)$$

где $I_{A(n)}$, $I_{B(n)}$ и $I_{C(n)}$ – соответственно, высшие гармоники тока фазы A , B и C ; a – оператор, равный $e^{\frac{2\pi}{3}}$; $I_{1(n)}$ – высшие гармоники тока прямой последовательности; $I_{2(n)}$ – высшие гармоники тока обратной последовательности; $I_{0(n)}$ – высшие гармоники тока нулевой последовательности.

При известных несимметричных и несинусоидальных значениях гармонических составляющих тока каждой фазы, в соответствии с (5), можно определить симметричные составляющие высших гармоник тока, т.е., гармонические составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей тока. Ниже в качестве примера приведен расчёт симметричных составляющих высших гармоник тока 5-го порядка для несимметричного режима при известных фазных токах, А:

$$\begin{aligned} I_{A(5)} &= 125.042e^{i164,8^\circ}; & I_{B(5)} &= 92.738e^{i63,7^\circ}; \\ I_{C(5)} &= 59.124e^{i54,3^\circ}; & I_{1(5)} &= 22.445e^{i133,75^\circ}; \\ I_{2(5)} &= 92.2734e^{i172,292^\circ}; & I_{0(5)} &= 15.973e^{i168,179^\circ}. \end{aligned}$$

Результаты расчёта симметричных составляющих высших гармоник тока 5-го порядка при несимметричной/несинусоидальной нагрузке показывают, что кроме тока обратной последовательности существуют токи прямой и нулевой последовательностей, которые не характерны для высших гармоник тока 5-го порядка [1, 7-9].

На рис.3 и 4 приведен пример векторных диаграмм симметричных составляющих высших гармоник тока, соответственно 5-го и 7-го порядков.

В соответствии с первым законом Кирхгофа алгебраическая сумма токов любой частоты при симметричном режиме работы четырехпроводной трехфазной сети будет равна нулю [1]:

$$I_{A(n)} + I_{B(n)} + I_{C(n)} = 0. \quad (6)$$

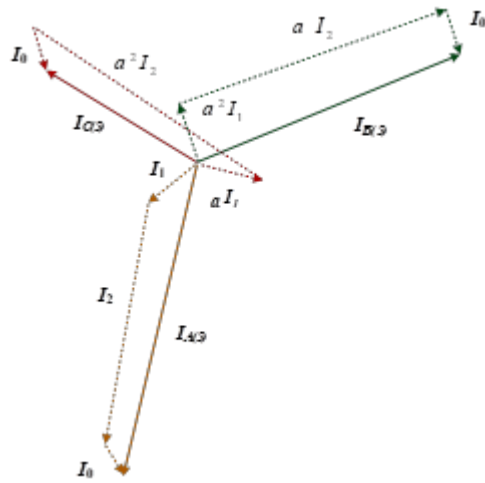


Рис.3. Векторная диаграмма токов прямой, обратной и нулевой последовательностей 5-й гармоники на шинах вводно-распределительного устройства

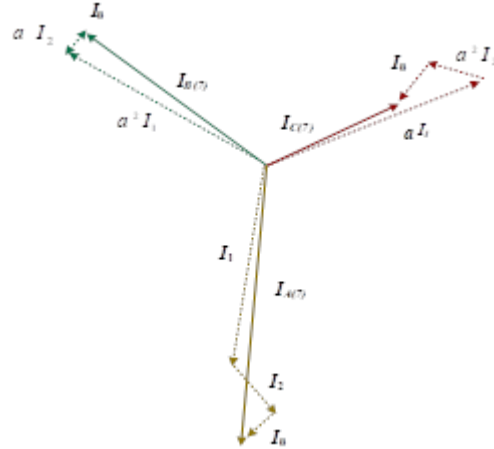


Рис.4. Векторная диаграмма токов прямой, обратной и нулевой последовательностей 7-й гармоники на шинах вводно-распределительного устройства

При несимметричном режиме работы сумма фазных токов будет равна току нулевого проводника [1]:

$$I_{N(n)} = I_{A(n)} + I_{B(n)} + I_{C(n)} = 3I_{0(n)}. \quad (7)$$

Далее, по выражению (7) можно определить высшие гармоники тока 5-го порядка, протекающего в нулевом проводнике:

$$I_{N(5)} = I_{A(5)} + I_{B(5)} + I_{C(5)} = 125.042e^{i164.8^0} + 92.738e^{i63.7^0} + 59.124e^{i54.3^0} = 49.919e^{i168.179^0}, \quad A.$$

Сравнение расчетных данных высших гармоник тока 5-го и 7-го порядков, протекающих в нулевом проводнике, в векторном виде представлено на рис. 5.

Таким образом, по выражению (7) можно определить высшие гармоники тока любого порядка нулевым проводнике. Далее, для верификации предложенной методики, результаты расчета симметричных составляющих высших гармоник тока, не кратные трем, приведем в табличном виде и сравним суммарное значение высших гармоник тока нулевой последовательности с данными тока нулевого проводника, полученными моделированием. Как видно из табл.1, результаты моделирования совпадают с расчетными значениями гармонических составляющих тока нулевого проводника. Максимальная погрешность составляет 1,65%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при несимметричном режиме работы несинусоидальной нагрузки в нулевом проводнике, кроме тока нулевой последовательности основной частоты и токов высших гармоник, кратных трем, протекает ток высших гармоник нулевой последовательности, не кратные трем ($n=3k+1$ и $n=3k-1$) [1, 8-10].

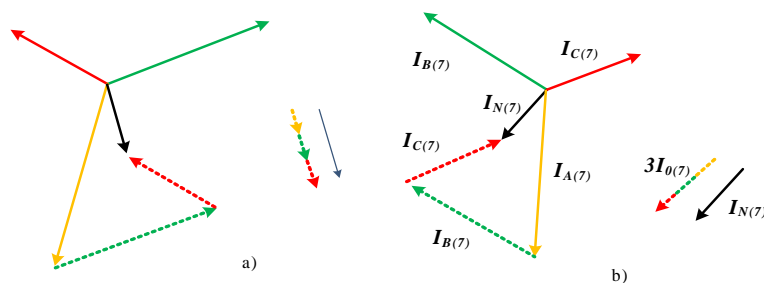


Рис.5. Векторная диаграмма для нахождения токов 5-й 75(0) (а) и 7-й 77(0) (б) гармоник в нулевом проводнике

В соответствии с методикой, результирующий ток нулевого проводника при симметричном режиме работы трехфазной четырехпроводной сети образуется за счет высших гармоник тока, кратных трём. Однако результаты моделирования показывают, что при несимметричном режиме работы нелинейной нагрузки данная методика дает некорректный результат. Поэтому для совершенствования методики расчета тока нулевого проводника при несимметричном и несинусоидальном режиме работы трехфазной сети рекомендуется ввести в формулу (1) составляющую, учитывающую нечетные высшие гармоники тока, не кратные трем:

$$I_N = \sqrt{3 I_{1(0)}^2 + \sum_{i=3}^{3n} I_{i(0)}^2}; \quad (8)$$

где I_N - ток нулевого проводника, А; $I_{0(1)}$ - ток нулевой последовательности основной частоты, А; действующие значения нечетных гармонических составляющих токов прямой, обратной и нулевой последовательностей и ток в нулевом проводнике; $I_{0(6n+1)}$ - нечетные высшие гармоники тока нулевой последовательности, не кратные трём, А; I_{3n} - высшие гармоники тока, кратные трём, А.

На рис.6 приведен алгоритм расчета симметричных составляющих гармонической составляющей тока нулевого проводника. Суть алгоритма заключается в следующем. В электрической четырехпроводной трехфазной цепи, содержащей нагрузку, определяются показатели качества электроэнергии, характеризующие несимметрию и несинусоидальность напряжения (коэффициенты несимметрии напряжения нулевой K_{0U} и обратной K_{2U} последовательностей, суммарный коэффициент гармонических составляющей напряжения K_U и коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$. Затем рассчитанные показатели качества электроэнергии сравниваются с нормативными данными [1-4, 7-10].

При несоответствии сравниваемых показателей качества электроэнергии допустимым значениям, принимаются меры по симметрированию нагрузки и снижению высших гармоник, после чего расчет несимметрии и несинусоидальности напряжения повторяется. В случае соответствия показателей качества электроэнергии нормативам определяется ток нулевого проводника, значение

которого сравнивается с паспортным значением длительно допустимого тока кабеля. При выполнении условия расчет завершается.

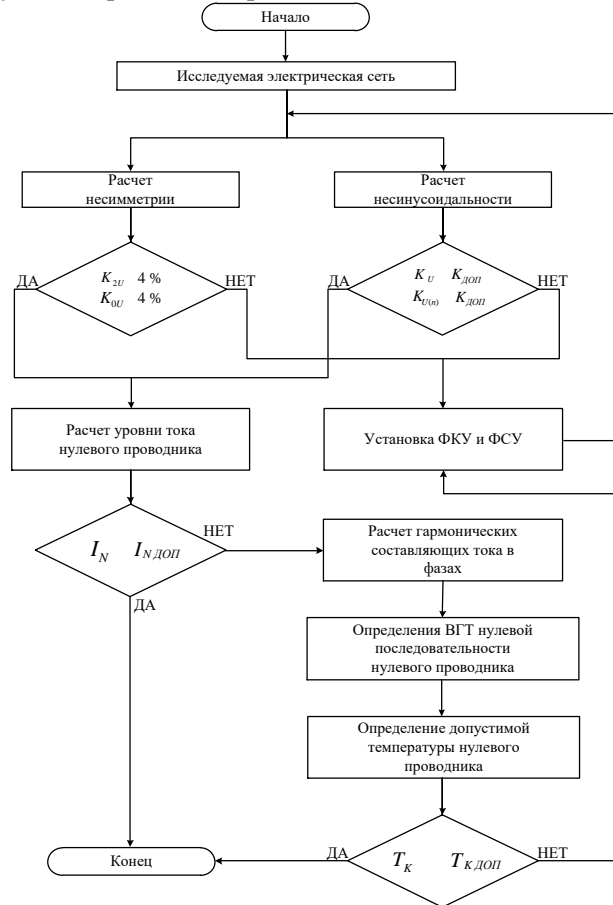


Рис.6. Блок-схема алгоритма расчета гармонической составляющей тока нулевого проводника электрической сети с нелинейной нагрузкой для определения нагрева кабельных линий

Если условие не выполняется, определяются гармонические составляющие фазных токов для расчета высших гармоник тока нулевой последовательности и допустимой температуры нагрева нулевого проводника. Известно, что при увеличении частоты переменного тока, активное сопротивление кабельных линий и проводников увеличивается в $4n$ раз по отношению к n -ой гармонике, что приводит к дополнительному нагреву. После определения фактической температуры нагрева кабельных линий ее значение сравнивается с допустимым значением ($7K_{доп}$). При выполнении условия расчет завершается, при невыполнении - применяются меры по компенсации высших гармоник тока и симметрированию напряжения [1-10].

Таблица 1

Действующие значения нечетных гармонических составляющих токов прямой, обратной и нулевой последовательностей и ток в нулевом проводнике

n	Результаты расчета				Результаты моделирования	Погрешность, %
	$I_{1(n)}, A$	$I_{2(n)}, A$	$I_{1(0)}, A$	$I_{N(n)} = 3I_{0(n)}, A$	$I_{N(n)}, A$	
5	$22,445 e^{i133.75}$	$92,273 e^{i172.29}$	$15,97 e^{-i168.2}$	$47,92 e^{-i168.18}$	$47,97 e^{-i167.9}$	0,1
7	$48,972 e^{i174.465}$	$11,842 e^{-i156}$	$8,524 e^{i144.94}$	$25,572 e^{-i144.94}$	$25,425 e^{i145.4}$	0,47
11	$6,811 e^{i141.89}$	$28,203 e^{i175.96}$	$5,15 e^{-i162.73}$	$15,45 e^{-i162.73}$	$15,51 e^{-i161.9}$	0,39
13	$22,8 e^{i176.82}$	$5,52 e^{-i153.67}$	$4,08 e^{i150.5}$	$12,24 e^{i150.5}$	$12,12 e^{i151.6}$	1,06
17	$1,974 e^{i149.7}$	$7,58 e^{i177.02}$	$1,815 e^{-i165.52}$	$5,445 e^{-i165.52}$	$5,508 e^{-i164.8}$	1,16
19	$4,492 e^{i178.44}$	$1,279 e^{-i159.52}$	$1,258 e^{i164.69}$	$3,774 e^{i164.69}$	$3,729 e^{i165.8}$	1,2
23	$0,66 e^{i161.14}$	$1,997 e^{i176.48}$	$0,838 e^{-i172}$	$2,514 e^{-i172}$	$2,54 e^{-i170.85}$	1,02
25	$1,822 e^{i178.82}$	$0,62 e^{-i165.95}$	$0,747 e^{i170.8}$	$2,241 e^{i170.8}$	$2,204 e^{i171.8}$	1,65

Выводы. Исследование несимметричного режима работы городской распределительной сети с нелинейной нагрузкой, и определение гармонических составляющих тока нулевого проводника четырехпроводной трехфазной электрической сети 0,4 кВ, позволило установить следующее:

- в нулевом проводнике, кроме тока обратной последовательности основной частоты и высших гармоник тока, кратных трём, присутствуют и нечетные высшие гармоники тока, не кратные трём ($I_{0(6n+1)}$). Например, значение тока гармоники 5-го порядка, являющегося током обратной последовательности, в нулевом проводнике составляет 47,92 А;

- с целью совершенствования существующей методики расчёта тока нулевого проводника необходимо учитывать токи высших гармоник порядка $6n+1$. Выражение (1) следует дополнить слагаемым $\sum_{i=5}^{6n+1} I_i^2(0)$, учитывающим нечетные высшие гармоники токов нулевой последовательности, не кратных трем.

Разработанный алгоритм расчета гармонической составляющей тока нулевого проводника при несимметрии нелинейной нагрузки позволяет определить действительное значение температуры нагрева кабельных линий четырехпроводной трехфазной электрической сети 0,4 кВ.

Литература

1. Камолов М.М., Джураев Ш.Дж., Исмоилов С.Т., Абдулкеримов С.А., Назиров Х.Б. Учёт несинусоидального/несимметричного режима работы электрической

кой сети коммунально-бытового назначения при расчете уровня тока нулевого проводника // Электричество, 2020, - №1, - С.35-43.

2. Суднова В.В. Качество электрической энергии. Учебное пособие. – М.: ЗАО “Энергосервис”. 2000, - С.80. ISBN 5-900835-30-8.

3. Тульский В.Н., Джураев Ш.Дж., Валянский А.В., Султонов Ш.М. Анализ результатов моделирования распределения высших гармоник тока в электрических сетях республики Таджикистан // Энергетик, 2018, - №7, - С.44-50.

4. Тульский В.Н., Иноятлов Б.Д., Джураев Ш.Дж., Рахимов Д.Б., Исмоилов С.Т. Оценка влияния несимметричной нагрузки на тепловой режим работы кабельной линии // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, 2018, - №4(44), - С.17-23.

5. Камолов М.М., Назиров Х.Б. Исмоилов С.Т., Джураев Ш.Дж., Амирханов А.С. Экспериментальная оценка качества электрической энергии современных коммунально-бытовых и офисных электроприемников // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, 2019, - №2(46), - С.26-33.

6. M.Bobojanov and S.Mahmutkhonov. Influence of the consumer to power quality at the point of connection. E3S Web of Conferences, 384, 01041, (2023). Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2022). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401041>.

7. Карташев И.И., Тульский В.Н. Управление качеством электроэнергии. Учебное пособие. 1-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ. 2006, - С.320. ISBN 5-903072-13-5.

8. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. и др. Управление качеством электроэнергии. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ. 2008, - С.354. ISBN 978-5-383-00280-3.

9. Ананичева С.С., Алексеев А.А., Мызин А.Л. Качество электроэнергии регулирование напряжения и частоты в электросистемах. Учебное пособие. - Екатеринбург: 3-е изд. УрФу. 2012, - С.93.

10. Рахимов О.С., Мирзоев Д.Н., Грачева Е.И. Экспериментальное исследование показателей качества и потерь электроэнергии в низковольтных сельских электрических сетях // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021, - №23(3). - С.209-222. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-3-209-222>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом им. И.Каримова
и Таджикским техническим университетом им. акад. М.С.Осими*

UDK 621.313

SINXRON MOTORLARNI DIAGNOSTIKA QILISH USULLARINI TAHLIL QILISH

F.S. Isakov

Maqolada sinxron motorlarga qo'yiladigan talablar, uning ishlab chiqarishdagi o'rni va vazifalari, mexanotronika analizatori orqali mavsumiy olingan natijalar va ularning tahlili, sinxron motorning yoz va qish oylarida yuklamalari o'zgarishi, Olmaliq tog' kon metallurgiya kombinatidagi maydalash tegirmonlarida sinxron motorlarni o'zgarish tahlillari ko'rib chiqilgan va avariya bo'lish mumkin bo'lgan sabablari o'rganilgan. Ishlab chiqarish korxonalarida turli quvvatli sinxron motorlarni ishchi kuchlanishi, toki, uning joriy quvvati va nominal parametrlarining o'zgarishi, buzilishi hamda to'xtab qolishi iqtisodiy jihatdan juda katta zarar keltiradi. Bunday zararlarni oldini olish uchun ishlab turgan sinxron motorlarni bir nechta diagnostika qilish usullarini ko'rib chiqamiz. Bu orqali biz uning uzluksiz ishlashini ta'minlash, nazorat qilish va holatiga qarab joriy tamirlash ishlarini olib borishimiz mumkin.

Kalit so'zlar: *sinxron motor, ishga tushirishdagi tok, chulg'am, joriy tamirlash, diagnostika usullari, shikastlanish, nazorat qilish, tahlil qilish, iqtisodiy samaradorlik, yuklamani boshqarish, quvvat isrofi.*

В статье рассмотрены требования к синхронным двигателям, их роль и задачи на производстве, сезонные результаты, полученные с помощью механотронного анализатора и их анализ, изменения нагрузок синхронных двигателей в летние и зимние месяцы. Проведен анализ изменений в синхронных двигателях мельниц на Алмалыкском горно-металлургическом комбинате, изучены возможные причины аварий. Колебания рабочего напряжения, тока и других параметров синхронных двигателей различной мощности на производственных предприятиях, поломки и остановки наносят большой экономический ущерб. Чтобы предотвратить подобные поломки, рассматривается несколько методов диагностики синхронных двигателей. Благодаря диагностике можно обеспечить бесперебойность их работы, контролировать и проводить текущие ремонтные работы.

Ключевые слова: *синхронный двигатель, пусковые токи, схема, текущий ремонт, методы диагностики, повреждения, контроль, анализ, экономическая эффективность, регулирование нагрузки, потери мощности.*

The article discusses the requirements for synchronous motors, their role and tasks in production, seasonal results obtained using a mechatronic analyzer and their analysis, changes in loads of a synchronous motor in the summer and winter months, synchronous motors in mills and an analysis of changes at the Almalik mining and metallurgical plant and studied possible causes of accidents. Changes in operating voltage, current power and

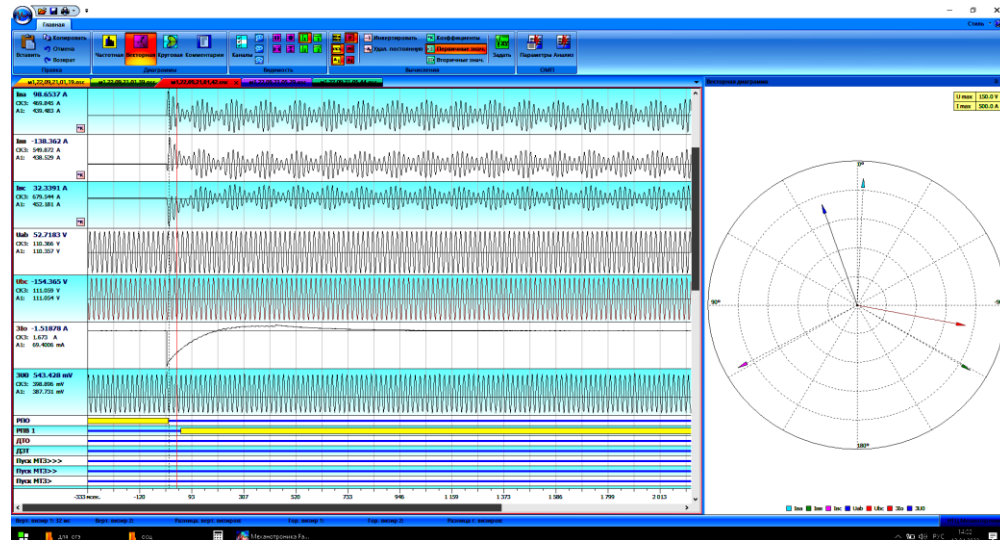
rated parameters of synchronous motors of various powers at manufacturing enterprises, breakdowns and shutdowns cause great economic damage. To prevent such breakdowns, we will consider several methods for diagnosing serviceable synchronous motors. Thanks to this, we can ensure its uninterrupted operation, monitor and carry out ongoing repair work depending on its condition.

Key words: *synchronous motor, current and voltage parameters at start-up, diagram, routine repairs, diagnostic methods, damage, control, analysis, economic efficiency, load regulation, power losses.*

Sinxron motorlarni diagnostika qilishda bir qancha omillarni misol keltirishimiz mumkin [1]. Diagnostika parametrlarini tanlashda, ushbu jihozning real sharoitda ishlatilishida, uning haqiqiy texnik holatini aniqlash talablariga javob bera oladiganlariga imtiyoz beriladi. Aksariyat amaliyotda bir vaqtning o'zida bir emas bir necha parametrlar ishlatiladi. Diagnostik tizimlarni loyihalashda sinxron motorlarni elementar tekshiruvdan o'tkazish tartibi va qoidalari, obyektning diagnostikalashtirish algoritmini ishlab chiqish hamda olingan axborotni tahlil qilish va qaror qabul qilish qoidalarini ishlab chiqish lozim [2]. Masalan stator chulg'amining namlanishi, podshipniklarda ortiqcha ovoz chiqishi, vibratsiyasining ortib ketishi motorning buzilishiga va vallarining maqbulligi yo'qolishiga olib keladi. Bunday hollarda biz sinxron motorlarni tamirlash ishlarini olib bormasdan avval ularni texnik holatini tekshirish va lozim bo'lsa joriy tamirlash ishlari tashkil etiladi [3]. Bizga ma'lumki sinxron motorda stator toki rotor magnit maydonining o'zaro tasiri natijasida aylantiruvchi elektromagnit moment hosil qiladi. Sinxron motorlar boshlang'ich yurgazish momentiga ega emas. Agar sinxron motorning rotor chulg'amiga o'zgarmas tok berilsa va rotori aylanmagan holda tarmoqqa ulansa, u ishlab keta olmaydi. Chunki tok bir davrga o'zgarganda, uning elektromagnit momenti ikki marta yo'nalishini o'zgartiradi, bir davr ichidagi o'rtacha momenti nolga teng bo'ladi. Sinxron dvigatelni ishlab turgan vaqtida to'xtatish uchun avval uning yuklamasi kamaytiriladi, stator chulg'ami tarmoqdan uziladi va qo'zg'atish chulg'ami tok manбайдan uzilib qarshilikka ulab qo'yiladi [4]. Quyida biz quvvati 5000 kVt, kuchlanishi 6000 V, aylanish tezligi 750 ayl/min bo'lgan maydalash qurilmasida ishlab turgan uch fazali sinxron motorni Mexatronik (Mexatronik-sinxron motorga doimiy ulangan analizator bo'lib qachonki motor nominal rejimdan chiqib ketsa uning parametrlarini o'zining xotirasiga saqlab qoladi) analizatori yordamida har bir fazasidagi kuchlanishi va toklarini tahlil qilib ko'ramiz.

Analizator yordamida olingan natijalarni solishtirish maqsadida sinxron motorning ishga tushirish, yuklama holatidagi ish jarayoni va to'xtatish vaqtidagi toki, kuchlanishi, hosil bo'lgan qoldiq toklari, fazalararo tok va kuchlanishlari hamda tok va kuchlanishning o'rtacha kvadratik qiymatlari osillogrammalarini va ularning farqlarini ko'rib chiqamiz:

Sinxron motorning ishga tushirish vaqtidagi olingan osillogrammasi (1-rasm).



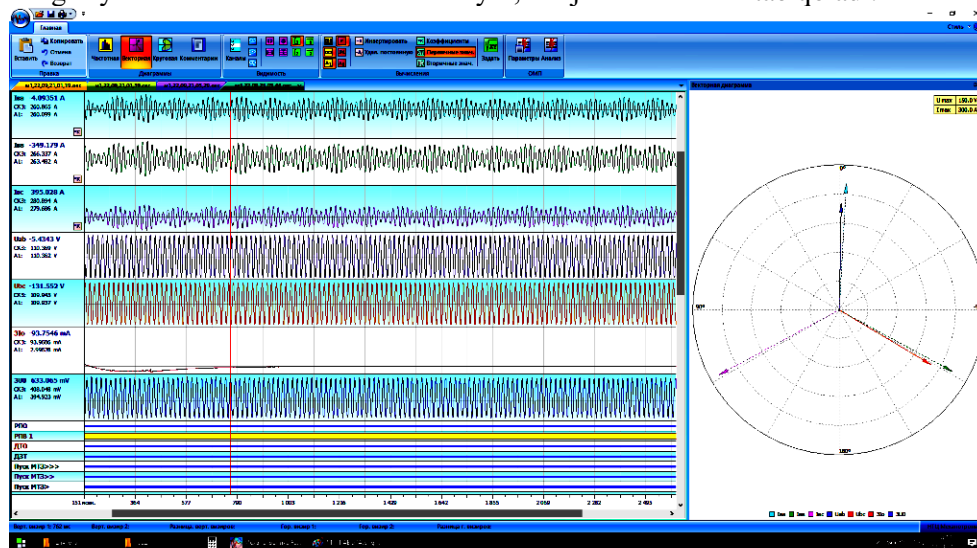
1-rasm. Sinxron motorning A, B, C fazalardagi tok va kuchlanishlarni ishga tushirishda millisekunddagi (msek) qiymatlari hamda o'rtacha kvadratik qiymatlari: I -tok, U -kuchlanish, $A1$ -o'rtacha kvadratik qiymatlarning o'zgarishi

Elektr tarmog'i bilan parallel ishlab turgan sinxron mashinaning rotoriga tormozlovchi moment ta'sir qilmasa, mashina avtomatik usulda motor rejimiga o'tadi. Bunday holatda mashina tarmoqdan aktiv quvvat oladi va uning rotoriga aylantiruvchi moment ta'sir qiladi. Sinxron motorning aylanish tezligi doimo bir hil va tarmoq chastotasi bilan bog'langan bo'ladi. Amalda sinxron motor sifatida ishlashi uchun uch fazali tok tarmog'iga stator chulg'amlari ulanadi, qo'zg'atish chulg'ami esa o'zgarmas tok manbaiga ulanadi. Sinxron motorni ishga tushirish uchun biror yordamchi motordan foydalaniladi yoki sinxron motorni asinxron usulda yurgaziladi. Odatda sinxron motorlarda ishga tushirish toki nominal tokning qiymatidan 4...5 marta katta bo'ladi. Bunday toklar hosil bo'lmashligi uchun stator chulg'amlariga avtotransformator yoki reaktor yordamida kamroq kuchlanish beriladi va shu orqali tok qiymati kamaytiriladi. Chunki zanjirning bir qismi uchun Om qonunida tok va kuchlanish bir-biriga to'g'ri proporsional, uning qarshiligiga esa teskari proporsionalligi asoslab berilgan [5]. Sinxron motor sinxronizmdan chiqib ketmasligi uchun inersiya momenti katta bo'lgan mexanizmlarda ta'minlovchi kuchlanish chastotasi bir meyorda o'zgartirilishi lozim. 1-rasmda tokning maksimal qiymati $I_{max}=500$ A (Amper) va kuchlanishning maksimal qiymati $U_{max}=150$ V (volt) ni tashkil qilmoqda

Sinxron motorning ish jarayonida yuklama berilgan holatidagi olingan osillogrammasi (2-rasm).

Sinxron mashinalarda aylanma magnet maydonning aylanish chastotasi n_1 rotorning aylanish chastotasiga n_2 ga teng bo'ladi. Sinxron motorning rotori sinxron tezlik bilan aylanishini xisobga olgan holda rotorning tezligi kamaysa, rotorning magnet qutblari tashqi sistemaning bir hil ishoralari qutblari qarshisiga to'g'ri keladi va magnet sistemalari

orasidagi bog‘lanishlar buziladi. Sababi ishorasi bir hil magnit qutblar bir-biridan itariladi va rotorga aylantiruvchi moment ta‘sir etmaydi, natijada motor to‘xtab qoladi.

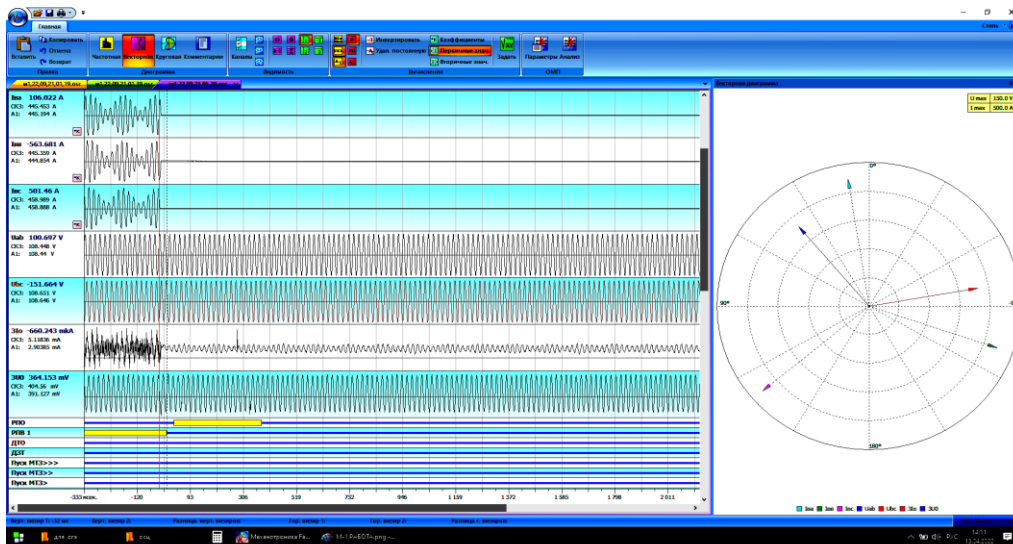


2-rasm. Sinxron motorning A, B, C fazalardagi tok va kuchlanishlarni yuklama holatidagi millisekunddagi (msek) qiymatlari hamda o‘rtacha kvadratik qiymatlari: I-tok; U-kuchlanish; A1-o‘rtacha kvadratik qiymatlarining o‘zgarishi

2-rasmdagi qiymatlarga e‘tibor beradigan bo‘lsak yuklama bilan ishlayotgan sinxron motorning toki $I_{\max}=300$ A (Amper) va kuchlanishning maksimal qiymati $U_{\max}=150$ V (volt) ni tashkil qilmoqda. Agar birinchi va ikkinchi rasmdagi qiymatlarni solishtiradigan bo‘lsak kuchlanishlarning qiymatlari bir hil, toklarning maksimal qiymatlari deyarli ikki barobar kattaroq ya‘ni $I_{yur}>I_{yur}$. Yuqorida aytganimizdek har doim ishga tushirishdagi tokning qiymati nominal tokning qiymatidan hamda yuklamadagi tokning qiymatidan ancha katta bo‘ladi. 3-rasmda motorning ishlab turgan rejimidan to‘xtatish rejimiga o‘tkazilgandagi osillogrammasi keltirilgan va uning qiymatlari $I_{\max}=500$ A (Amper) va kuchlanishning maksimal qiymati $U_{\max}=150$ V (volt) ni tashkil qilmoqda. Olingan natijalarni solishtiradigan bo‘lsak birinchi, ikkinchi, uchunchi rasmdagi kuchlanishlarning qiymatlari bir hil ammo toklarning qiymatlari farq qilmoqda. Sinxron motorni ishlab turgan holatidan to‘xtatish holatiga o‘tishdagi osillogrammasi (3-rasm).

Shunday qilib texnik diagnostikasi tizimi faoliyatiga qaratilgan har qanday sarf xarajatlar minimallashtirilishi shart. Rejali texnik diagnostika amaldagi me‘yorlar va qoidalar bo‘yicha olib boriladi. Bundan tashqari sinxron motor o‘zining me‘yoriy xizmat muddatini o‘tib bo‘lganidan so‘ng, motorni ishlatishda davom etish imkoniyati mavjudligi haqida qaror qabul qilishda, rejali texnik diagnostika yordam beradi [6].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА



3-rasm. Sinxron motorning A, B, C fazalardagi tok va kuchlanishlarni to'xtash holatidagi millisekunddagi (msek) qiymatlari hamda o'rtacha kvadratik qiymatlari: I-tok; U-kuchlanish; A1-o'rtacha kvadratik qiymatlarining o'zgarishi

Sinxron motorlar rejadan tashqari texnik diagnostikasi ularning texnik holatida nosozliklar aniqlanganda o'tkaziladi. Agar diagnostika sinxron motorning ish vaqtida o'tkazilsa, u funksional diagnostika deb ataladi. Keying yillarda mustaqil davlatlar hamdo'stligiga a'zo bo'lgan davlatlarda turli xil fizik va matematik modellarga asoslangan diagnostik tizimlar ishlab chiqildi. Texnik diagnostika o'tkazish davlat standarti GOST 2751887 "Maxsulotlar diagnostikasi" orqali o'tkaziladi va umumiy talablarga muvofiq bajariladi [7]. Unda quyidagi masalalar yechiladi va bartaraf etiladi:

- sinxron motorni texnik holatini aniqlash;
- shikast joylarini aniqlash va bartaraf etish;
- sinxron motorlarning texnik holatini oldindan aniqlash.

Hozirgi kunga kelib energetika sohasida juda ko'plab ishlar qilinmoqda va yangicha yondoshuvlar ishlab chiqilmoqda. Bundan bir necha yillar avval XX asr oxirlari va XXI asr boshlarida sinxron motorlarni ichki jarayonlarini masofadan boshqarishni ilojisi bo'lmagan va diagnostika ishlari yetarlicha olib borilmagan. Yuqorida keltirilgan 1,2,3-rasmlarda sinxron motorni masofadan turib uning holatini osillogrammada keltirilgan qiymatlar orqali aniqlashimiz mumkin.

Xulosa qilib aytganda sinxron motorlarni texnik diagnostika qilish uning ish vaqtida to'xtab qolishini hamda buzilish holatlarini avvaldan nazorat qiladi va bu orqali maxsulotni yaroqsiz holatga kelishini va iqtisodiy zararlarni keltirib chiqarmaslikni oldini olishda muhim ahamiyat kasb etadi. Chunki katta quvvatli sinxron motorlar, bir necha tonna maxsulotni maydalash uchun ishlatiladigan tegirmonlarda ularni aylantirish hamda yurgazish uchun xizmat qiladi.

Adabiyot

1. Турбогенераторы. Аварии и инциденты: техн. пособие / Ю. Н. Самородов. - М.: Элекс-КМ, 2008. - 488 с. - ISBN 978-5-93815-049-2.
2. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. - М.:Высшая школа, 1988. - 232 с.
3. Складов В.Ф. Отраслевая техническая диагностика, как фактор повышения эффективности энергетического производства // Энергетика и электрификация. - 1983. - № 1. - С. 1-4.
4. Иброхимов У. Электр машиналари. Дарслик: 3-кайта ишланган нашри, 2001.
5. Алексеев Б.А., Мамиконянц Л.Г., Шакарян Ю.Г. Проблемы продления эксплуатации основного электрооборудования энергосистем, отработавшего определенный стандартами срок работы // Изв. РАН. Энергетика. - 2001. - № 3. - С. 51-59.
6. Складов В.Ф., Гуляев В. А. Диагностическое обеспечение энергетического производства. - Киев: Техника, 1985. - 184 с.
7. ГОСТ 27905.1-88. Руководство по оценке и идентификации систем изоляции оборудования. Введен в действие с 01.01.1990 г. Постановление по стандартам от 25.11.1988 № 3842 международный стандарт МЭК 505-75.

*Toshkent davlat texnika universiteti
tomonidan taqdim etilgan*

УДК 621.311

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10/0,4 кВ

Х.З. Назирова, О.З. Назирова

Мақолада электр тақсимилаш тармоқларининг хусусиятларини баҳолаш имкониятлари кўриб чиқилади. Электр эрэнергия исрофи стандартига риоя қилмасликнинг асосий сабаби кўрсатилган. Тарқатиш тармоқларида электр энергиясининг номутаносиблигини аниқлаш учун асосий маълумотлар қайд этилган. Технологик ва техник исрофларнинг таркибий қисмлари келтирилган. Жадвалда ҳар хил турдаги электр жиҳозлари учун электр исрофлари кўрсатилган. Ҳар хил турдаги электр исрофларини ҳисобга оладиган алгоритм таклиф этилади. Математик моделлар ва симулятсиялар тармоқ, унинг топологияси ва бошиқа характеристикалари ҳақидаги маълумотларга асосланган қувват ёқотишларини баҳолаш учун ишлатилиши мумкин. Масалан, ёқотишларни моделиштириш электр компонентларининг параметрларини, қувват сарфини ва тармоқнинг турли нуқталарида юкланиш муддатини ҳисобга олишни ўз ичига олади. Энергия истеъмоли ва тизим ишлаши маълумотларидан (масалан, истеъмол ҳисоблагичлари, трансформатор қуввати маълумотлари, юклама тақсимоти маълумотлари) энергия исрофларини баҳолаш учун статистик таҳлиллар ва ҳисоб-китоблар ёрдамида амалга оширилиши мумкин.

Калит сўзлари: тарқатиш тармоғи; ёқотишлар; электр энергияси.

В работе рассматриваются возможности оценки характеристик распределительных электрических сетей 10/0,4 кВ. Указана основная причина невыполнения норматива потерь. Отмечены основные данные для определения величины небаланса электрической энергии в распределительных сетях. Приведены составляющие технологических и технических потерь. В таблице приведены потери электроэнергии по различным видам электротехнического оборудования. Предлагается алгоритм, учитывающий различные виды потерь электроэнергии. Для оценки потерь электроэнергии можно использовать математические модели и симуляции на основе данных о сети, ее топологии и других характеристиках. Например, моделирование потерь включает учет параметров электрических компонентов, потребляемой мощности и длительности нагрузки в разных точках сети. С использованием данных о потреблении электроэнергии и показателях работы системы (например, данные счетчиков потребления, данные о мощности трансформаторов, данные о распределении нагрузки), можно провести статистический анализ и расчеты для оценки потерь электроэнергии.

Ключевые слова: распределительная сеть; потери; электроэнергия.

The paper considers the possibilities of evaluating the characteristics of distribution electrical networks. The main reason for non-compliance with the loss standard is indicated. The basic data for determining the magnitude of the unbalance of electrical energy in distribution networks are noted. The components of technological and technical losses are given. The table shows electricity losses for various types of electrical equipment. An algorithm is proposed that takes into account various types of electricity losses. Mathematical models and simulations can be used to estimate power losses based on data about the network, its topology and other characteristics. For example, loss modeling involves taking into account the parameters of electrical components, power consumption and load duration at different points in the network. Using energy consumption and system performance data (eg, consumption meters, transformer capacity data, load distribution data), statistical analyzes and calculations can be performed to estimate energy losses.

Key words: *distribution network; losses; electricity.*

Электрические сети 10/0,4 кВ являются основной составляющей в системе передачи и распределении электроэнергии потребителям и составляют большую часть от общей протяженности всех видов электрических сетей.

От надежности работы сетей 10/0,4 кВ и величины их загрузки зависят бесперебойность и обеспечение качества электроэнергии при энергоснабжении потребителей, а от достоверности расчетов технологических потерь в распределительных сетях 10/0,4 кВ напрямую зависит величина выявления коммерческих потерь [1].

Расчет потерь электроэнергии (ЭЭ) в распределительных сетях 10/0,4 кВ является процессом сложным и трудоемким, что связано с особенностями распределительных сетей:

- большим объемом информации;
- низкой достоверностью информации;
- большой протяженностью и разветвленностью сетей;
- динамическими изменениями схемных и режимных параметров;
- многообразием исполнения;
- несимметричностью нагрузок фаз;
- изменением фазных напряжений.

Проводя анализ изменений показателей нормативных и фактических потерь в распределительных электрических сетях АО «РЭС Ташкента» с 2017 по 2022 годы, убеждаемся, что уровень утвержденных нормативных потерь и уровень фактических потерь электроэнергии каждый год изменяется незначительно от показателей предыдущих лет.

Главной проблемой выполнения норматива потерь электроэнергии является наличие коммерческой составляющей общих потерь электроэнергии [2]. Существование коммерческой составляющей потерь электроэнергии очень часто объясняют хищениями электроэнергии потребителями. На самом деле, немалая часть коммерческих потерь обусловлена неправильными расчётами технологических

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

потерь электроэнергии, и невозможностью одновременного снятия показаний приборов учёта у всех потребителей.

Для определения величины небаланса электрической энергии по сетям необходимы следующие исходные данные:

- схема электрической сети 10/0,4 кВ;
- паспортные данные участков сети и трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ;
- классы точности приборов измерительных комплексов и показания счетчиков

электроэнергии, установленных:

- на головных участках линий 10 кВ;
- на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ;
- на головных участках линий 0,38 кВ;
- у абонентов, подключенных к сетям 10 кВ и 0,4 кВ [3].

Технологические потери электроэнергии, представленные на рис.1, при ее передаче по электрическим сетям территориальных сетевых организаций (ТСО) включают в себя:

- технические потери в линиях и оборудовании электрических сетей, обусловленных физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии в соответствии с техническими характеристиками и режимами работы линий и оборудования;

- потери, обусловленные расходом электроэнергии на собственные нужды подстанций;

- потери, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии.

Расчёт объема технологических потерь электроэнергии производится в целях определения норматива технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям.

Технические потери электроэнергии в электрических сетях, возникающие при ее передаче по электрическим сетям, состоят из потерь, не зависящих от величины передаваемой мощности (нагрузки) – условно-постоянных потерь, и потерь, объем которых зависит от величины передаваемой мощности (нагрузки) – нагрузочных (переменных) потерь [4].

Условно-постоянные потери включают:

- потери на холостой ход силовых трансформаторов;
- потери в синхронных компенсаторах, батареях статических конденсаторов, статических тиристорных компенсаторах, шунтирующих реакторах;

- потери в соединительных проводах и сборных шинах распределительных устройств подстанций;

- потери в системе учета электроэнергии (трансформаторах тока, трансформаторах напряжения, счетчиках и соединительных проводах);

- потери в вентильных разрядниках, ограничителях перенапряжений;

- потери в устройствах присоединений высокочастотной связи;

- потери в изоляции кабелей;

- потери от токов утечки по изоляторам ВЛ;

- расход электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- расход электроэнергии на плавку гололеда [4].

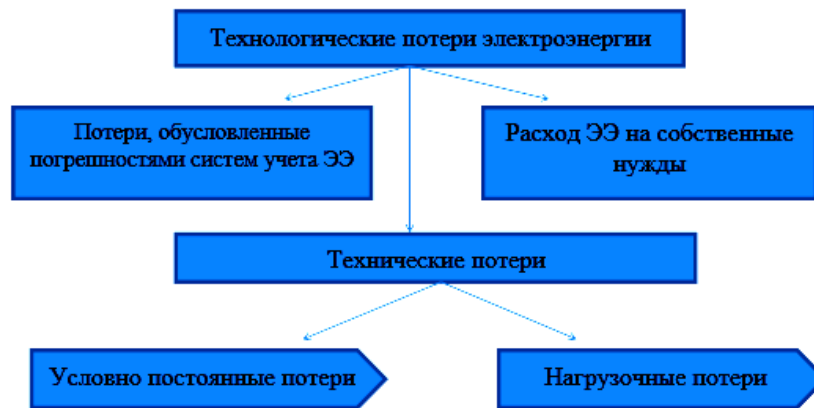


Рис.1. Технологические потери

Рассмотрим только одну составляющую условно-постоянных потерь, а если точнее, потери в системе учета электроэнергии (трансформаторах тока, трансформаторах напряжения, счетчиках и соединительных проводах).

Данный вид потерь электроэнергии не учитывается при формировании баланса потерь в сетях 10/0,4 кВ района электрических сетей (РЭС) территориальных сетевых организаций (ТСО).

Суммируя количество приборов учета (электросчетчики, ТТ, ТН) потребителей в сетях 10/0,4 кВ района электрических сетей получаем значительные по объему, но не учитываемые как технологические, потери электроэнергии по причине принадлежности приборов учета (ПУ) потребителям на основании актов балансового разграничения ответственности сторон. Возникает ситуация, когда они попадают в разряд коммерческих потерь.

Причина возникновения потерь в системе учета электроэнергии (трансформаторах тока, трансформаторах напряжения, счетчиках и соединительных проводах) электроэнергии заключается в конструктивной особенности электросчётчиков, когда незначительное количество электроэнергии расходуется на приведение в действие механических, электрических и электронных частей прибора учёта (электромагнитная индукция, трение, нагрев элементов и соединений электрических схем, шаговые двигатели, электронные табло и светодиодная индикация).

Основными параметрами электросчётчика, влияющими на внутреннее энергопотребление, являются:

- активная мощность (полная мощность), потребляемая счетчиком по цепи напряжения при номинальном напряжении, нормальной температуре, номинальной частоте;

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

• полная мощность, потребляемая счетчиком по цепи тока при нормальной температуре и номинальной частоте;

• стартовый ток для счетчиков с определённым базовым током [5].

Например, электронный счётчик "ЕХ18" имеет следующие характеристики:

• активная мощность (полная мощность) составляет 2 (10) Вт (В·А);

• стартовый ток с базовым током 10 А составляет – 20 (мА) [4].

Соответственно, стартовая полная мощность, при которой осуществляется учёт электроэнергии, определяется по формуле:

$$P_{ст.полн.} = I_{см} \cdot U = 0,02 \cdot 220 = 4,4 \text{ Вт}; \quad (1)$$

где $P_{ст. полн.}$ – полная стартовая мощность; $I_{ст.}$ – стартовый ток; U – электрическое напряжение в сети.

Стартовая активная мощность, с учётом коэффициента мощности, определяется по формуле:

$$P_{ст.акт.} = I_{см} \cdot U \cdot \cos \varphi = 0,02 \cdot 220 \cdot 0,86 = 3,784 \text{ Вт}; \quad (2)$$

где $P_{ст. акт.}$ – стартовая активная мощность, Вт; $I_{ст.}$ – стартовый ток, мА; U – электрическое напряжение в сети, В; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности (среднее значение).

Активная (полная) мощность, потребляемая цепью напряжения $P_{ц. н. акт.}$ составляет 2 Вт, что почти в два раза меньше расчётной стартовой мощности $P_{ст. акт.}$ равной 3,784 Вт, при которой электрический счётчик ведёт учёт потребления активной мощности и соответственно, не учитывается счётным механизмом прибора учёта:

$$P_{акт} < P_{ст. акт} \quad (3)$$

Можно определить количество мощности, потребляемую данным электросчётчиком за сутки, месяц или год, используя формулу:

$$P_{ц.н.акт.год} = P_{ц.н.акт} \cdot T_{сут} \cdot T_{год}; \quad (4)$$

где $P_{акт. год.}$ – активная мощность, потреблённая электросчётчиком за год;

$P_{акт.}$ – активная мощность, потреблённая электросчётчиком за час, Вт;

$T_{сут.}$ – количество часов в сутках, час;

$T_{год.}$ – количество дней календарного года, день.

Определяем объём активной мощности, потреблённый электронным счётчиком "ЕХ 18" за один календарный год:

$$P_{ц.н.акт.год} = 2 \cdot 24 \cdot 365 = 17520 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \quad (5)$$

В распределительной электрической линии 0,4/10 кВ подключен не один прибор учёта, а десятки, сотни, и даже тысячи приборов учёта, из чего следует, что головной счётчик, определяющий отдачу электроэнергии в линию, регистрирует суммарную потребляемую мощность приборов учёта всех потребителей. Видим, что объём электроэнергии, отданной в линию, не соответствует объёму электроэнергии, регистрируемой у потребителей. Явным образом присутствует небаланс электроэнергии в распределительной сети.

Аналогичная ситуация обстоит с потерями в измерительных трансформаторах тока и измерительных трансформаторах напряжения.

Поэтому потери электроэнергии в электрических счетчиках 0,22–0,66 кВ, измерительных трансформаторах тока, измерительных трансформаторах напряжения должны приниматься в соответствии с данными заводов-изготовителей оборудования. При отсутствии данных завода изготовителя расчетные потери принимаются в соответствии с табл. I согласно Инструкции по организации в Министерстве энергетики Узбекистана работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям [4].

Потери электроэнергии в электрических счетчиках прямого включения 0,22–0,66 кВ принимаются кВт·ч в год на один счётчиков соответствии со следующими данными,

- однофазный, электронный – 21,9;
- трехфазный, электронный – 73,6 [3].

Например, количество систем учёта N-го района электрических сетей (РЭС) территориальной сетевой организации (ТСО) имеет в своём составе:

- однофазных электронных ПУ – 40000 шт.;
- трехфазных электронных ПУ – 10000 шт.

Произведём примерный расчёт не учитываемых потерь N-го РЭС по формуле:

$$P_{\text{потерь сч.}} = \sum P_{\text{о.ф.и.}} + \sum P_{\text{о.ф.э.}} + \sum P_{\text{т.ф.и.}} + \sum P_{\text{т.ф.э.}}; \quad (6)$$

где $P_{\text{потерь сч.}}$ – общая мощность потерь в ПУ РЭС, кВт;

$\sum P_{\text{о. ф. и.}}$, $\sum P_{\text{о. ф. э.}}$, $\sum P_{\text{т. ф. и.}}$, $\sum P_{\text{т. ф. э.}}$ – суммарные мощности потерь однофазных индукционных, однофазных электронных, трехфазных индукционных, трехфазных электронных ПУ соответственно, кВт:

$$\sum P_{\text{о.ф.и.}} = P_{\text{о.ф.и.}} \cdot n \cdot T_{\text{сут}} \cdot T_{\text{год}}; \quad (7)$$

$$\sum P_{\text{о.ф.э.}} = P_{\text{о.ф.э.}} \cdot n \cdot T_{\text{сут}} \cdot T_{\text{год}}; \quad (8)$$

$$\sum P_{\text{т.ф.и.}} = P_{\text{т.ф.и.}} \cdot n \cdot T_{\text{сут}} \cdot T_{\text{год}}; \quad (9)$$

$$\sum P_{\text{т.ф.э.}} = P_{\text{т.ф.э.}} \cdot n \cdot T_{\text{сут}} \cdot T_{\text{год}}; \quad (10)$$

где n – количество ПУ;

$P_{\text{о. ф. и.}}$, $P_{\text{о. ф. э.}}$, $P_{\text{т. ф. и.}}$, $P_{\text{т. ф. э.}}$ – мощности потерь однофазного индукционного, однофазного электронного, трехфазного индукционного, трехфазного электронного ПУ, соответственно, кВт;

$T_{\text{сут}}$ – количество часов в сутках, час;

$T_{\text{год}}$ – количество дней календарного года, дни;

Потери электроэнергии N-го РЭС в электрических счетчиках прямого включения 0,22–0,66 кВт·час составят 492400 кВт·час в год или 41033 кВт·час в месяц. А если учесть потери в счётчиках трансформаторного включения, ТТ, ТН по 0,4 кВ и 10 кВ, то количество потерь еще больше возрастёт.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В работе предлагается опираться на алгоритм, представленный на рис. 2, учитывающий расчетные методы анализа баланса электроэнергии, точный учет отдачи электроэнергии и переданной (потреблённой) электроэнергии, выбор наиболее соответствующих мероприятий, направленных на снижение технологических и коммерческих потерь электроэнергии.

Этапы алгоритма: 1. Сбор и проверка данных:

- определение соответствия учётных и фактических данных количества приборов учёта потребителей;
- определение соответствия фактическому состоянию элементов схем, режимов распределительной сети;
- снятие показаний приборов учёта потребителей (АСКУЭЭ, обходы персонала), систем учёта подстанций и ТП на время окончания расчётного периода;
- контроль корректности снятых показаний приборов учёта и их уточнение;
- уточнение информации о состоянии распределительной сети в расчётный период.

2. Обработка информации:

- определение объёма электроэнергии, поступившей в сеть, и суммарного объёма электроэнергии, отпущенной потребителям по каждой подстанции, ВЛ-10 кВ, ТП 10/0,4 кВ, ВЛ-0,4 кВ, приборов учёта потребления электроэнергии потребителей;
- определение фактического небаланса электроэнергии, равный разности между расчётным и фактическим потреблением;
- проведение сравнительного анализа расхода электроэнергии по каждой подстанции, ВЛ-10 кВ, ТП 10/0,4 кВ, ВЛ-0,4 кВ, приборов учёта потребления электроэнергии потребителей за предшествующие периоды;
- определение объёма неучтенной электроэнергии (коммерческие потери) равное разности фактического и допустимого небаланса.

3. Формирование баланса электроэнергии в распределительной сети:

- анализ результатов формирования баланса электроэнергии;
- регистрация результатов анализа баланса электроэнергии в электронной базе данных;
- печать результатов анализа баланса электроэнергии на бумажных носителях информации.

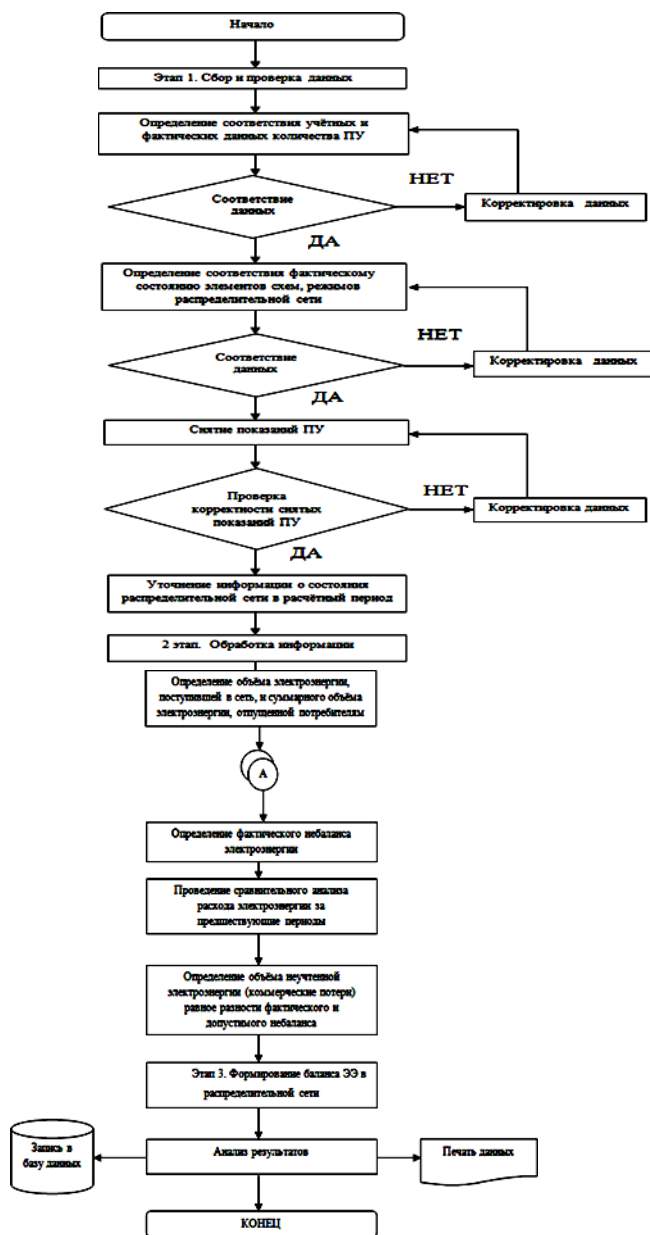


Рис. 2. Алгоритм, учитывающий расчетные методы анализа баланса электроэнергии, точный учет отдачи электроэнергии и переданной (потреблённой) электроэнергии, выбор наиболее соответствующих мероприятий, направленных на снижение технологических и коммерческих потерь электроэнергии

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Для точного составления баланса электроэнергии и правильного определения всех его составляющих, большую роль играет использование автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), которые позволяют одновременно решать ряд различных проблем: снятие показаний счетчиков, контроль состояния объектов электрохозяйства, контроль параметров качества электроэнергии, контроль мощности в сети, расчет балансов и технических потерь электроэнергии, выявление в топологии сети мест несанкционированных подключений в распределительной электрической сети.

ВЫВОДЫ: Предлагаемый в работе подход может быть полезен для территориальных сетевых организаций, для того, чтобы обеспечивались точные балансы электроэнергии в распределительных сетях 10/0,4 кВ. При этом необходимо уделять внимание проведению мероприятий по уточнению расчётов технологических потерь и внедрению АСКУЭ, которое приведёт к снижению коммерческой составляющей потерь электроэнергии.

Литература

1. Воротницкий В.Э. Структура коммерческих потерь электроэнергии и мероприятия по их снижению / В.Э. Воротницкий, М.А. Калинкина. 2000. –11 с.
2. Железко В.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчётов /В.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. -М.:Издательство НЦ ЭНАС. 2005. –280 с.
3. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. -Т.: Fan va texnologiyalar nashriot–matbaa uyi, 2021. – 952 с.
4. Rasulov A.N. AIP Conference Proceedings 2552, 050017, (2023), <https://doi.org/10.1063/5.0111530>.
5. Nazirova Kh.Z. E3S Web of Conferences 384, 01046 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401046> RSES 2022.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 622.481.24

ВНЕДРЕНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА ТЕПЛОИСТОЧНИКАХ РЕСПУБЛИКИ**М.А. Короли, Л.О. Низамова, Б.Б. Оппокхужаев**

Ҳозирги вақтда бутун дунёда ҳам, Ўзбекистонда ҳам иссиқлик ва электр энергиясини биргалликда ишлаб чиқариши учун мини-иссиқлик электр станцияларини қуриши ва фойдаланишига топиришига асосланган энергия таъминотини ривожлантиришига катта эътибор қаратилмоқда. Мавжуд иссиқлик таъминоти тизимларининг ишончлилиги, самарадорлиги ва сифатини оширишига техник ва ташиқлий тадбирлар мажмуини мунтазам равишда амалга ошириши орқали эришилади. Шу муносабат билан мини-ИЭМ ва туман қозонхоналарини қуриши, марказлаштирилмаган иссиқлик таъминоти тизимларига бўлган эҳтиёж ва энергия истеъмоли ва энергия тежаси самарадорлигини ошириши, энергия манбаларига бўлган эҳтиёж ортади. Иссиқлик энергетикаси ва газ насосларида когенерация қурилмаларини қуриши чизмалари орасида учта асосий (базавий) вариантни: газ поршенли двигателлардан фойдаланган ҳолда когенерация қурилмалари; буг-газ циклларидан фойдаланган ҳолда когенерация қурилмалари; хосслари ва хусусиятлари жиҳатидан мавжуд иссиқлик, электр ва механик энергия ишлаб чиқариши талабларига деярли тўлиқ жавоб берадиган газ турбинали двигателлардан фойдаланишига асосланган когенерация қурилмаларига ажратилиши мумкин. Ушбу ишда Тошкент шаҳрининг Чилонзор туманидаги Оқтепа ва Богзор маҳаллаларида газ поршенли автоном энергия таъминоти қурилмаларидан фойдаланган ҳолда когенерация қурилмаси негизда мини-иссиқлик электр станциясидан фойдаланишининг афзалликлари кўриб чиқилади.

Калит сўзлар: когенерация қурилмалари, иссиқлик таъминоти, иссиқлик манбаи, иссиқлик ва электр энергияси, газ турбинаси қурилмалари, газ поршенли қурилмалар.

В настоящее время как во всем мире, так и Узбекистане, уделяется большое внимание развитию энергоснабжения, которое базируется на строительстве и вводе в эксплуатацию мини-ТЭЦ, для совместного производства тепловой и электрической энергии. Повышение надежности, экономичности и качества существующих систем теплоснабжения достигается путем планомерного осуществления комплекса технических и организационных мероприятий. В связи, с чем увеличивается потребность в энергоресурсах, строительстве мини-ТЭЦ, районных котельных, необходимость в системах децентрализованного теплоснабжения и увеличении эффективности энергопотребления и энергосбережения. Среди схем построения когенерационных установок в теплоэнергетике и газоперекачке можно выделить три основных (базовых) варианта: когенерационные установки с применением газопоршневых двигателей;

когенерационные установки с применением парогазовых циклов; когенерационные установки на базе применения газотурбинных двигателей которые по своим свойствам и характеристикам практически полностью удовлетворяют требованиям уже существующих производств тепловой, электрической и механической энергии. В данной работе рассматриваются преимущества применения мини-ТЭЦ на базе когенерационной установки с использованием газопоршневых установок автономного энергообеспечения в 7 квартале Чиланзарского района г.Ташкента в махаллях Октепа и Богзор.

Ключевые слова: когенерационная установка, теплоснабжение, источник тепла, тепловая и электрическая энергия, газотурбинная установка, газопоршневая установка.

Nowadays, both in the world and in Uzbekistan, great attention is paid to the development of energy supply, which is based on the construction and commissioning of mini-CHPs for the joint production of heat and electricity. Improvement of reliability, efficiency and quality of existing heat supply systems is achieved through systematic implementation of a set of technical and organizational measures. In this connection, the need for energy resources, construction of mini-CHPs, district boiler houses, the need for decentralized heat supply systems and increasing the efficiency of energy consumption and energy saving are increasing. Among the schemes of construction of cogeneration plants in heat power engineering and gas pumping we can distinguish three main (basic) variants: cogeneration plants with the use of gas-piston engines; cogeneration plants with the use of steam-gas cycles; cogeneration plants based on the use of gas-turbine engines, which by their properties and characteristics almost fully meet the requirements of already existing production of thermal, electrical and mechanical energy.

This paper considers the advantages of the application of mini-CHP on the basis of the cogeneration plant using gas piston installations for autonomous energy supply in Tashkent, Chilanzar district, 7th, in the Oktepa and Bogzor mahallas.

Keywords: cogeneration plant, heat supply, heat source, thermal and electrical energy, gas turbine unit, gas piston unit.

Введение. В общем случае принципы когенерации предусматривают совместную работу теплогенерирующего оборудования с оборудованием, производящим электрическую и механическую энергию. Эта установка представляет собой ту или иную комбинацию паровых котлов, топок, печей, других теплогенерирующих устройств и теплоутилизаторов с газотурбинными или газопоршневыми установками и газоперекачивающими агрегатами. Когенерационная установка, которая в качестве топлива использует природный газ, производит не менее двух полезных продуктов, например, теплоту и электроэнергию или механическую работу, химические и другие продукты различных теплотехнологических процессов и т.п. В настоящее время для энергосбережения интересны когенерационные установки, производящие и тепловую, и электрическую энергии.

Среди схем построения когенерационных установок в теплоэнергетике и газоперекачке можно выделить три основных (базовых) варианта, которые по своим свойствам и характеристикам практически полностью удовлетворяют требованиям уже существующих производств тепловой, электрической и механической энергии. Все эти варианты отличаются друг от друга тепловыми приводными двигателями, типами генераторов, способами генерирования тепловой энергии. И из этого следует, что комбинированную выработку различных видов энергии можно подразделить на:

- когенерационные установки с применением газопоршневых двигателей;
- когенерационные установки с применением парогазовых циклов;
- когенерационные установки на базе применения газотурбинных двигателей.

У первых двух типов когенерационных установок базовыми (определяющим) продуктом является тепловая энергия, а электрическая (механическая) энергия - вспомогательным. В общем объёме энергии, её доля не превышает 20-30%. В третьем варианте доля выработанной электроэнергии может превышать 50%, и в большинстве случаев она является основным продуктом.

Изначально, при создании когенерационной установки, принципиальным вопросом является выбор её схемы. От схемы зависят состав применяемого оборудования, энергетические характеристики установки в целом, стоимость и окупаемости капиталовложений в её сооружение. Все схемы этих установок определяются их назначением, то есть видами и количеством энергии, которые она должна генерировать. Если основным назначением установки является теплоснабжение, то она может строиться по первой или второй схеме [1,2]. В последнее время всё большее внимание уделяется применению в энергетике газовых турбин малой и средней мощности. Привод электрогенератора может осуществляться либо от газопоршневого двигателя, в зависимости от общей мощности установки, соотношения тепловой и электрической нагрузок, наличия топливного газа требуемых параметров, требований экологической безопасности и ограничений по стоимости оборудования, либо от ГТУ. Когенерационная установка создаётся на базе существующих отопительных водогрейных котлов, и для агрегатов менее 10 - 20 МВт тепловой мощности более предпочтительным является применение в качестве привода электрогенератора газопоршневых двигателей, работающих по утилизационной схеме (без дожигания топлива в котле), т.к. от этого получаются лучшие экономические показатели, чем в схемах с использованием ГТУ. Одно из направлений их использования – это переоборудование котельных в мини – ТЭЦ [3].

Основная часть. Создание мини-ТЭЦ рассматривается как энергоэффективное решение проблем электро- и теплоснабжения в масштабе небольших регионов, городов, посёлков, промышленных предприятий и т.п. Совместная работа газотурбинных установок с водогрейными котлами в котельных позволяет обеспечить надёжное электроснабжение собственных нужд, и это, в свою очередь, повышает надёжность теплоснабжения потребителей, а также снижает удельные расходы топлива на единицу получаемой тепловой и электрической энергии.

Особенности мини-ТЭЦ. Мини- ТЭЦ на основе газотурбогенераторов имеют следующие свойства:

- отсутствует непосредственная связь с котлом;
- необходимо применение утилизационного контура;
- высокий уровень шума;
- требуется дополнительное помещение.

Возникают так же проблемы с продажей электрической энергии в электросеть, и с лимитами потребления природного газа, т.к. внедрение ГТУ, при сохранении тепловой нагрузки, требует дополнительного топлива.

При сравнении стоимости электроэнергии, вырабатываемой на ГТУ (без учёта утилизационного теплового контура) со стоимостью централизованного источника, то она на превышает 30% и более. Газовые турбины имеют небольшой КПД (0,22-0,37%), поэтому они должны использоваться только с утилизационными контурами. Окупаемость модернизации котельной зависит от количества отпускаемой электроэнергии, от тарифов на электроэнергию, капитальных затрат, затрат на эксплуатацию и от числа часов работы на больших тепловых нагрузках. Наибольшая эффективность использования ГТУ обеспечивается при длительной работе с максимальной электрической нагрузкой [4].

Реализации когенерционных установок для обеспечения комфортных условия населения. В данной работе рассматриваются преимущества использования мини-ТЭЦ на базе когенерационной установки автономного энергообеспечения в Чиланзарском районе Ташкента для махаллей Октепа и Богзор. Основанием является Постановление [5].

До последнего времени обеспечение теплом потребителей в махаллях Октепа и Богзор на 7 квартале Чиланзарского района осуществлялось централизованно от ТашТЭЦ, работающей на природном газе. Система теплоснабжения не обеспечивала комфортных условий населения в связи с изношенностью тепловых сетей, что привело к увеличению удельных расходов топлива и ухудшению экологической обстановки. В следствие этого было предложено современное техническое решение – переход на децентрализованное теплоснабжение и строительство новой локальной котельной с реконструкцией системы теплоснабжения и переходом на закрытую схему присоединения потребителей с установкой индивидуального теплового пункта (ИТП) в каждом объекте.

В махаллях Октепа и Богзор, где расположено 50 многоквартирных домов, 7 социальных учреждений и десятки объектов бизнеса, во время аномальных холодов прошлой зимой наблюдались перебои в теплоснабжении. Теперь здесь, впервые в республике, введена в эксплуатацию уникальная когенерационная станция работающая по принципу комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Она способна вырабатывать 4,6 час МВт электроэнергии и более 29 Гигакалорий тепла в час.

Состав основного оборудования: котлы серии КВА, комплектованные автоматизированной вентиляторной блочной газовой горелкой, две газопоршневые установки (ГПУ) марки TCG 3020V20 мощностью 2,3 МВт. Принцип внедрения

ГПУ- когенерация (комбинированная выработка тепловой и электрической энергии). Общая мощность котельной 29,6 МВт. Предусмотрена система контроля и управления когенерационной установкой, которая осуществляет мониторинг приборов и аварийной защиты основных систем двигателя и электрогенератора.

Кроме установки когенерационной станции, проведена реконструкция и системы теплоснабжения в махаллях Октепа и Богзор: в каждом жилом доме и социальном объекте установлены отдельные теплораспределительные пункты; тепловые сети переведены на «закрытую» схему присоединения потребителей и защищены от потерь путём замены старых труб на новые изолированные трубы. Пункты распределения тепла оснащены датчиками, позволяющими регулировать тепло в домах в зависимости от изменения температуры воздуха.

Технологическая схема когенерационной установки (КГУ) на 7 квартале Чиланзарского района приведена на рис. 1.

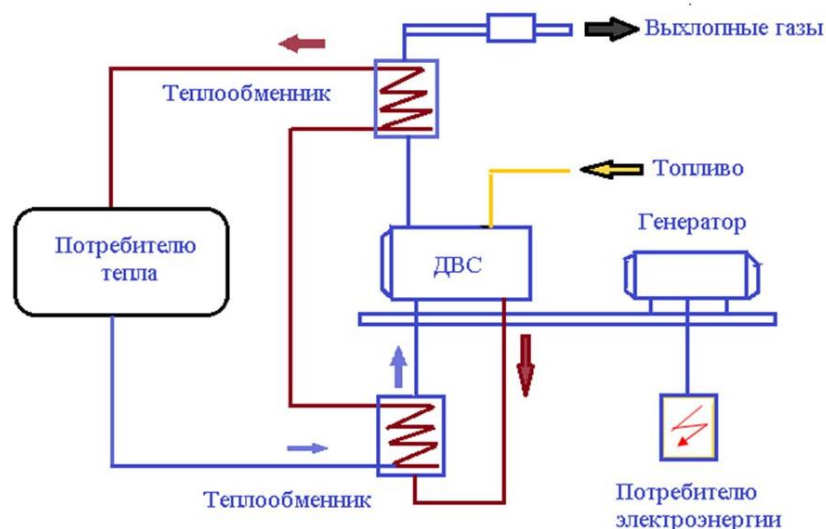


Рис.1. Технологическая схема КГУ в махаллях «Октепа» и «Богзор»

Принцип работы: Газопоршневая установка работает на основе газового двигателя, соединенного на одном валу с генератором переменного тока. Топливом является природный газ. Весь принцип работы основан на использовании энергии выхлопных газов газопоршневой установки когенерационной установки на базе газопоршневого агрегата: в процессе сжигания топлива образуется механическая энергия, которая передается через вал на генератор и преобразуется в электрическую энергию необходимых параметров. Во время основного процесса получения электрической энергии образуется значительное количество тепла, которое можно утилизировать с помощью специального оборудования - теплообменников и котлоутилизаторов и в дальнейшем использовать.

Экологический анализ. Производство энергии - главный источник загрязнения. Когенерация, используя первичное топливо в два-три раза эффективней

традиционной энергетики, снижает выбросы загрязняющих веществ (оксида азота, двуокиси серы и летучих органических соединений) в 2-3 раза, в зависимости от конкретного случая [6].

Поставляемый газ – бессернистый, а это значит, что образования сернистого ангидрида не происходит. Содержание кислорода 15%, что свидетельствует об отсутствии образования бенз(о)пирена. Коэффициент избытка воздуха – 3,5, при котором происходит полное сгорание углеводородов. По результатам расчетов при сжигании природного газа 7193,1 тыс.м³/год в атмосферу будет выделяться 158,772 т/год загрязняющих веществ.

Выводы. На сегодняшний день внедрение когенерационных технологий является одним из самых значимых и перспективных путей повышения эффективности использования природного газа, как топлива.

Рассмотрев особенности внедрения когенерационных установок, с точки зрения их классификации, различных видов компоновки, схемных решений и т.д., можно утверждать, что когенерация, помимо своих технологических преимуществ в экономии топлива, средств и энергии, экологической безопасности, даёт существенную перспективу развития энергетики района.

Введение в эксплуатацию когенерационной установки имеет большой социальный эффект, так как позволит повысить надежность и стабильность обеспечения теплом электроэнергией потребителей махаллей Октепа и Богзор 7 квартала Чиланзарского района Ташкента.

Введение в строй когенерационной установки положительно и с экологического аспекта - уменьшения тепловых и вредных выбросов в окружающую среду. При сжигании природного газа 7193,1 тыс.м³/год на когенерационной станции махаллей Октепа и Богзор в атмосферу будет выделяться всего лишь 158,772 т/год загрязняющих веществ (полное сгорание углеводородов, отсутствие сернистого ангидрида и образования бенз(о)пирена).

Литература

1. Пищаскин И.Г., Дагаев С.Ю., Лебедев Е.А. Перспективы использования когенерационных технологий паровых и водогрейных котельных. / Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции - Даниловских чтений. – Екатеринбург, Россия, 2019. — С. 308-311.

2. Лебедев Е.А. Анализ эффективности использования когенерационных технологий в котельных установках. // Приволжский научный журнал, ННГАСУ, Россия, 2019. – №1 (49). – С. 63-69.

3. Боровков В.М., Бородин О.А. Перевод отопительных и промышленных котельных в режим мини ТЭЦ, как способ повышения их надежности // Журнал Надежность и безопасность энергетики. – С-Петербург, 2009. – №2 (5) – С. 47-56.

4. Короли М.А. Энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения Узбекистана. // Монография. – Ташкент, 2021.

5. Постановление Президента Республики Узбекистан от 20.01.2023 г. № 23 «Об оперативных мерах по реализации опытно-испытательных проектов в целях обеспечения населения г. Ташкента дополнительной тепловой и электрической энергией»

6. Лебедева Е.А. Мини-ТЭЦ на базе производственно-отопительной паровой котельной. // Приволжский научный журнал. 2008. - №2. – С. 51-53.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.56

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА И ВОЗДУХА В ПОДЗЕМНЫХ ПЛОДООВОЩЕХРАНИЛИЩАХ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ**Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев, Ж.Д. Садыков, Т.Я. Хамраев**

Мақолада қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини сақлаш учун ер ости мева-сабзавот омбори кўриб чиқилди. Ҳозирги вақтда конвектив иссиқлик алмашинуви жараёнларини, хусусан, ер ости шамоллатиш каналлари муҳитида $T(t)$ функционал боғлиқлигини тупроқ ҳароратининг ўзгаришини ўрганиш мева ва сабзавот омборлари долзарб масаладир. Конвектив иссиқлик алмашинуви жараёнларининг математик моделини ишлаб чиқиш ва етказиб бериладиган ташиқи ҳаво ҳароратини ўзгариши учун тупроқнинг иссиқлик аккумуляциялаш хусусиятларидан фойдаланиш, бу ушбу техник тизимнинг иш натижасини олиш имконини ва бу дастур учун аниқ тавсияларни беради. Ягона ер ости шамоллатиш каналларида ҳаво ҳаракатланаётганда, каналнинг бошланғич қисмидаги ҳаво ҳарорати доимий ёки даврий функция қонунига мувофиқ вақт ўтиши билан ўзгарганда ва ўтказилган экспериментал тадқиқотлар битта ер ости шамоллатиш каналларида ҳаракатланаётган ҳаво ҳароратининг ўзгаришини илмий ва амалий баҳолаш учун қулай бўлган боғлиқликларни олишга имконини берди. Математик моделлаштириш фан ва техниканинг барча соҳаларида, хусусан, ер ости шамоллатиш канали атрофида жойлашган тупроқ ҳароратининг ўзгариши жараёни энг долзарб масала бўлиб, компьютер моделини олиш вазифасини қўяди ва уни ўрганиш энг муҳим илмий ва амалий хулосалар ва натижаларга эришиш имконини беради. Турбо-Паскал тилида дастур тузилди ва компьютер модели асосида ер ости шамоллатиш канали атрофида жойлашган тупроқ ҳароратининг ўзгаришини тавсифловчи графиклар олинади.

Калим сўзлар: совуқни аккумуляциялаш, ер ости мева-сабзавот сақлаш омбори, конвектив иссиқлик алмашинуви, шамоллатиш канали, компьютер модели.

В статье рассматривается подземное плодоовощехранилище для хранения сельскохозяйственной продукции. В настоящее время исследования конвективных теплообменных процессов, в частности изменения температуры грунта $T(t)$ в среде подземных вентиляционных каналов плодоовощехранилищах, является актуальной задачей. Разработка математической модели конвективных теплообменных процессов и использование теплоаккумулирующих свойства грунта для изменения температуры приточного наружного воздуха, позволяет получить результат, выводящий на конкретные применимые рекомендации. Аналитическое решение задачи при движении в одиночных подземных вентиляционных каналах, когда температура приточного воздуха в начальном сечении канала постоянна или меняется во времени выражается в виде периодической функции. Проведенные

экспериментальные исследования позволили получить зависимости, удобные для научно-практической оценки изменения температуры воздуха при движении в одиночных подземных вентиляционных каналах. Математическое моделирование является актуальным и наиболее приемлемым для анализа процесса изменения температуры грунта, расположенного вокруг подземного вентиляционного канала; и ставит задачу получения компьютерной модели, исследование которой дает возможность получить наиболее важные научно-практические выводы и результаты. На языке турбо-Паскаль составлена программа, а на основе компьютерной модели получены графики, характеризующие изменение температуры грунта расположенного вокруг подземного вентиляционного канала.

Ключевые слова: подземное плодовоовощехранилище, аккумуляция холода, математическое моделирование, конвективный теплообмен, вентиляционный канал.

The article considers an underground fruit and vegetable storage facility for storing agricultural products. Currently, the study of convective heat exchange processes, in particular changes in the soil temperature of the functional dependence $T(t)$ in the environment of underground ventilation channels of fruit and vegetable storages is an urgent task. Development of a mathematical model of convective heat exchange processes and the use of heat-accumulating properties of the soil to change the temperature of the supply outside air, which allows to obtain the result of the operation of this technical system, leading to specific recommendations for use. Analytical solution of the problem when moving in single underground ventilation ducts, when the supply air temperature in the initial section of the channel is constant or changes in time according to the law of the periodic function, and the experimental studies carried out made it possible to obtain dependences convenient for scientific and practical assessment of changes in air temperature when moving in single underground ventilation channels. Mathematical modeling is the most relevant in all spheres of science and technology, in particular, the process of changing the temperature of the soil located around the underground ventilation duct sets itself the task of obtaining a computer model, the study of which makes it possible to obtain the most important scientific and practical conclusions and results. A program has been compiled in the turbo-Pascal language and, based on a computer model, graphs have been obtained characterizing the change in the temperature of the soil located around the underground ventilation channel.

Key words: cold accumulation, underground fruit and vegetable storage, convective heat exchange, ventilation channel, computer model.

Исследование конвективных теплообменных процессов, в частности изменение температуры грунта функциональной зависимости $T(t)$, в среде подземных вентиляционных каналов плодовоовощехранилищах является актуальной задачей.

В настоящее время недостаточно исследован математическая модель конвективных теплообменных процессов и использования теплоаккумулирующих свойства грунта для изменения температуры приточного наружного воздуха, позволяющий получить результат, выводящий на конкретные рекомендации для

применения. Наиболее важный вклад в решение задач, характеризующих изменение параметров воздуха при движении в одиночных подземных вентиляционных каналах, был сделан Е.В. Стефановым [1]. Им было получено аналитическое решение задачи, когда температура приточного воздуха в начальном сечении канала постоянна или меняется во времени по закону периодической функции, а проведенные экспериментальные исследования позволили получить зависимости, удобные для научно-практической оценки изменения температуры воздуха при движении в одиночных подземных вентиляционных каналах [1,2].

В настоящее время изучения и исследования достижений теории алгоритмизации, математического моделирования является наиболее актуальным во всех сферах науки и техники. В частности, математическое моделирование процесса изменения температуры грунта, расположенного вокруг подземного вентиляционного канала, ставит задачу получения компьютерной программной модели, исследование которой дает возможность получить наиболее важные научно-практические выводы и результаты.

Процесс создания математической модели состоит из математического описания исследуемого процесса, решения математических уравнений, алгоритмизации, составления программ на языке высокого уровня, к примеру на турбо-Паскале, ввод программы в память компьютера и получения компьютерной модели; далее следует проверка исследования компьютерной модели на точность, адекватность, надежность и другие характеристики. На этой основе [3,4] разработана компьютерная программная модель, и ниже проведена программа.

Для случая охлаждения компьютерная программа математической модели:

```
uses
crt;
var
  a,r,tu,tx,t0,v,d,x,Fo,Bi,Re:real;
  f:text;
begin
  clrscr;
  Assign(f,'nat.pas');
  Rewrite(f);
  t0:=15;
  d:=0.1;
  x:=12;
  v:=1;
  a:=0.0033;
  r:=0.05;
  a:=a/(r*r);
  Bi:=0.866;
  Re:=0.33e+4;
  tu:=1;
  While tu<=100 do
```

```

begin
fo:=a*tu;
tx:=v+(t0-v)*exp(-0.374*exp(-0.25*ln(fo))*exp(-0.8*ln(bi))*exp(-0.2*ln(re))*
exp(0.6*ln(x/d)));
WriteLn(f,'fo=',fo:2:2,' tx=',tu:2:0,' =',tx:2:4 );
tu:=tu+1;
end;
Close(f);
End.

```

Соответственно, для случая подогрева составленная программа-модель имеет следующий вид:

```

uses
crt;
var
a,r,tu,tx,t0,v,d,x,Fo,Bi,Re,pr:real;
f:text;
begin
clrscr;
Assign(f,'nat1.pas');
Rewrite(f);
t0:=-5;
d:=0.1;
x:=12;
v:=15;
a:=0.0033;
r:=0.05;
a:=a/(r*r);
Bi:=0.791;
Re:=0.33e+4;
pr:=0.708;
tu:=1;
While tu<=100 do
begin
fo:=a*tu;
tx:=v-(v-t0)*exp(-0.4566*exp(-0.25*ln(fo))*exp(-0.8*ln(bi))*exp(-0.2*ln(re))*
exp(0.65*ln(pr))*exp(0.566*ln(x/d)));
WriteLn(f,'fo=',fo:2:2,' tx=',tu:2:0,' =',tx:2:4 );
tu:=tu+1;
end;
Close(f);
End.

```

На основе исследуемой компьютерной программной модели для случая [5,6] охлаждения получены кривые зависимости $\frac{t_x - \theta_{гр}}{t_0 - \theta_{гр}} = f(F_0)$, (рис.1) и $t_x = f(\tau)$, (рис.2),

где относительно оптимальной кривой является кривая 2, которая описывает оптимальное аккумулирование тепла при $t_{02}=15^{\circ}\text{C}$; $\theta_{гр}=1^{\circ}\text{C}$; $x_2=12\text{м}$. Программа - модель, как научный экспериментальный исследуемый объект или средство, дает конкретные результаты для различных параметров исследуемого процесса т.е. охлаждения. При необходимости программу - модель можно усовершенствовать.

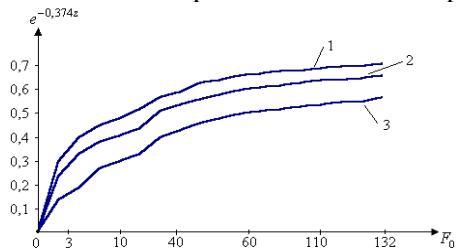


Рис.1. Зависимость $e^{-n \cdot z} = f(F_0)$ для аккумуляции холода зимой

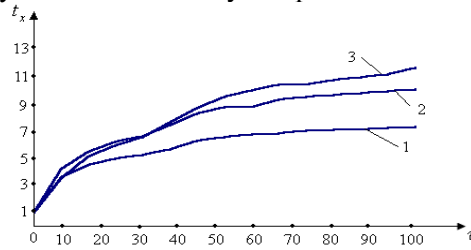


Рис.2. Зависимость $t_x = f(\tau)$ для нагревания приточного наружного воздуха

Получены кривые зависимости $\frac{\theta_{гр} - t_x}{\theta_{гр} - t_0} = f(F_0)$, (рис.3) и $t_x = f(\tau)$, (рис.4) с

помощью математической модели для случая подогрева [7].

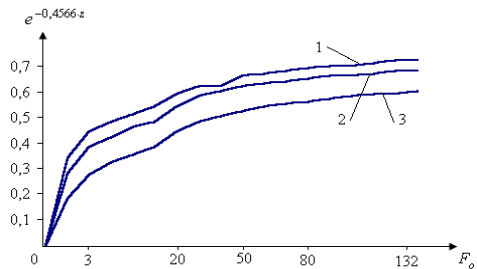


Рис.3. Зависимость $e^{-n \cdot z} = f(F_0)$ для использования аккумулированного холода весной и летом

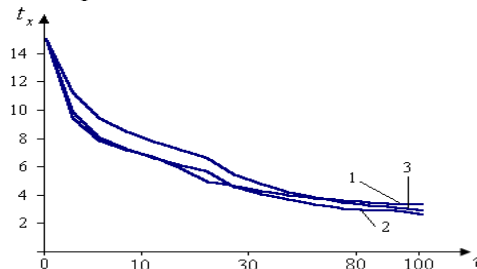


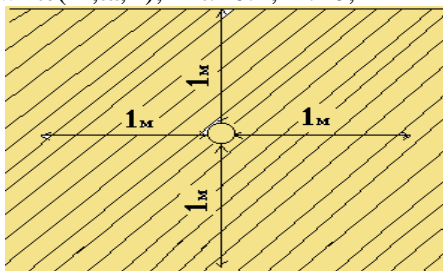
Рис.4. Зависимость $t_x = f(\tau)$ для охлаждения приточного наружного воздуха

Программа-модель характеризующая изменение температуры грунта:
 procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
 var ta,h1,w1,h,xi,w,z,n1,n,x,y,hy,dx,dy:word; a,la,al,t0,tc,xh,xt,ht:real;
 tet,e1:extended;
 tx:array[0..50] of real; a1:integer;
 r:array[1..20] of integer; p1,p2:0..400; p3:0..50;

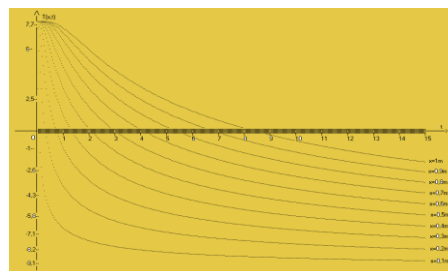
```

function erfc(x:real):real;
var s,h,x1,x2:real;
j,k,i:integer;
begin
h:=x/10; s:=0; x1:=0; x2:=h;
for i:=1 to 9 do begin
s:=s+exp(-x2*x2)+exp(-x1*x1);
x1:=x2; x2:=x2+h;
end;
erfc:=h*s/2;
end;
begin
a=0.0033; la=2.04; a1:=1; n1:=1; n:=360;
if a1=1 then begin al:=30.91; t0:=-10; tc:=10; end
else begin t0:=10; tc:=-10; al:=24.11; end;
assignfile(f1,'tetta.out'); rewrite(f1);
ht:=al/la; xh:=0.1;
for ta:=n1 to n do begin
write(f1,ta,' '); xt:=0.1; xi:=0;

```



а)



б)

Рис.5. Изменение температуры грунта: а) схема расположения подземного вентиляционного канала; б) семейство графиков изменения температуры грунта

```

while xt<=1 do begin
inc(xi);
e1:=exp(ht*xt+sqr(ht)*a*ta)* erfc(x/(2*sqr(a*ta))+h*sqr(a*ta) );
tet:=erfc(xt/(2*sqr(a*ta)))-e1;
tx[xi]:=tet*(tc-t0)+t0; xt:=xt+xh; write(f1,tx[xi]:2:4,' '); end;
writeln(f1); end;
closefile(f1);

```

На основе компьютерной программной модели нами получено семейство графиков характеризующих изменение температуры грунта, расположенного вокруг подземного вентиляционного канала в радиусе до 1 м (рис. 5а,б). Изменяя входные параметры исследуемой компьютерной модели можно достичь наиболее эффективных результатов аккумуляции тепла или холода. Далее, путем применения

системы автоматического управления появляется возможность экономичного использования аккумулированного тепла или холода в исследуемом объекте.

В заключение можно сделать следующие выводы:

- составленная математическая модель (компьютерная модель) на требуемом уровне описывает процессы подогрева и охлаждения грунтового массива;
- составленная компьютерная модель на базе систем элементов автоматики дает возможность оптимального использования аккумулированного тепла или холода в исследуемом объекте.

Литература

1. Стефанов Е.В. Результаты исследования неизоэтермического течения несжимаемой жидкости в подземных каналах и трубах. //Инженерно-физический журнал XI-4-1966.
2. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Научные основы аккумулирования естественного холода в подземных плодощехранилищах/ Монография. – Карши:Интеллект. 2021. -124 с.
3. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Мамедова Д.Н., Чулиев С.Э. Моделирование теплообменных процессов в подземных плодощехранилищах. //Инновацион технологиялар. -Карши, 2019. -№3(35). - С. 31-36. (05.00.00; №38).
4. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Вардияшвили А.А., Мансуров А.А., Мамедова Д.Н. Математическое моделирование изменения температуры воздуха по вентиляционному каналу в подземных плодощехранилищах //Научно-технический журнал ФерПИ. -Фергана, 2020. -Том 24. -№ 1. - С. 65-69.
5. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Вардияшвили А.А. Математическое моделирование процессов теплообмена при аккумулирования естественного холода в грунтовом массиве //Научно-технический журнал ФерПИ. -Фергана, 2021. - Том 25.№ 5. -С.65-69.
6. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Математическая модель теплового баланса подземного плодощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. 2021. -№3. - С.153-163.
7. Узаков Г.Н., Рузилулов Г.Ю., Яхшибоев Ш.К. Теплотехнический расчет пассивных систем аккумулирования возобновляющихся природного холода. //Инновацион техника ва технологияларининг атроф мухит мухофазаси сохадаги муаммо ва истиқболлари: Халқаро илмий-техник конференция материаллари. - Тошкент: ТДТУ, 2020. -С.187-190.

Представлено Каршинским инженерно-экономическим институтом

УДК 621.311.22: 621.182.12(075.8)

ПРОБЛЕМЫ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ В КОНДЕНСАТОРАХ ТУРБИН НА ТЭС УЗБЕКИСТАНА

Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов, Ю.У. Абдуллабеков, А.И. Анарбаев

Иссиқлик электр станцияларида (ИЭС) турбинали конденсаторли совутиши тизимларининг турлари ва уларни ишлатишининг асосий муаммолари бўйича адабиёт маълумотларини кўриб чиқилди. Тўғридан-тўғри оқимли совутиши тизими совутиши сувининг кучли манбасини талаб қилиши ва сув таъминоти манбасининг термал ифлосланишига олиб келиши кўрсатилган. Иш натижаларидан айланма совутиши тизимларига эга бўлган иссиқлик электр станцияларида электр жиҳозларининг самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш учун фойдаланиши мумкин. Совутиши тизимларида латуннинг сувга коррозия тезлигига турли тузатувчи реагентларнинг таъсири аниқланади. Маълум бўлишича, конденсатор найчаларини совутиши суви томонида октадесиламин плёнка ҳосил қилувчи амин билан олдиндан тозалаш қасмоқнинг чўкинди ҳосил бўлиши тезлигини ва коррозиясини камайтиришига имкон беради.

Калит сўзлар: иссиқлик электр станцияси, турбина конденсаторлари, латун қувурлари коррозияси, сув-кимё ҳолати.

Приведен обзор и анализ литературных данных по типам систем охлаждения конденсаторов турбин на теплоэлектростанции (ТЭС) и проблемам их эксплуатации. Показано, что прямоточная система охлаждения требует наличия источника охлаждающей воды и приводит к тепловому загрязнению источника водоснабжения. Результаты работы могут быть использованы для повышения экономичности и надежности работы энергетического оборудования на ТЭС с оборотными системами охлаждения. Определено влияние различных корректирующих реагентов на скорость коррозии латуни в воде систем охлаждения. Показано, что предварительная обработка конденсаторных трубок пленкообразующим амином октадециламина со стороны охлаждающей воды позволяет снизить скорость образования отложений и коррозии латуни.

Ключевые слова: теплоэлектростанция, конденсаторы турбин, коррозия латунных труб, водно-химический режим.

The review of literature data on the types of turbine condenser cooling systems at thermal power plants (TPP) and the main problems of their operation is given. It is shown that the direct-flow cooling system requires a powerful source of cooling water and leads to thermal pollution of the water supply source. The results of the work can be used to improve the efficiency and reliability of power equipment at TPP with circulating cooling systems. The influence of various corrective reagents on the rate of corrosion of brass on water in cooling systems is determined. It is shown that pre-treatment of condenser tubes

with octadecylamine film-forming amine on the cooling water side makes it possible to reduce the rate of formation of scales and corrosion of brass.

Keywords: *heat power plant, turbine condensers, corrosion of brass pipes, water chemistry regimes.*

Введение. В настоящее время на ТЭС используются системы оборотного охлаждения с градирнями и прудами-охладителями с небольшой продувкой или без продувки. В результате испарения воды в процессе охлаждения происходит концентрирование примесей в охлаждающей воде. Это приводит к образованию накипи на поверхности конденсаторных трубок и, как следствие, к снижению интенсивности теплообмена [1-6]. Кроме того, концентрирование солей создает коррозионно-агрессивную среду, коррозию конденсаторных трубок и их выход из строя [1].

Постановка задач исследования. Одним из основных факторов, влияющих на надежность работы ТЭС, являются водно-химические режимы (ВХР) отдельных контуров. Традиционно наибольшее внимание уделяется ВХР пароводяного тракта ТЭС. Однако, наряду с ним, важное значение имеет организация ВХР системы оборотного охлаждения конденсаторов турбин [2].

В первую очередь это связано с тем, что от состояния трубок конденсатора зависит тепловая экономичность турбины: при наличии отложений в трубках ухудшается теплообмен между конденсирующимся паром и охлаждающей водой, в результате чего снижается вакуум и, как следствие, уменьшается теплоперепад, срабатываемый на турбине, т.е. снижается экономичность энергоблока. Кроме того, в случае усиления коррозионных процессов возможен преждевременный выход трубок конденсатора из строя, что приводит к простоям и затратам на ремонт [3]. В последнее время все большее внимание уделяется экологическому аспекту организации ВХР систем охлаждения, так как значительны штрафы за превышение предельно допустимых концентраций примесей в сбросных водах ТЭС [4-7].

В нашей стране сейчас не существует программы организации ВХР оборотных систем охлаждения, решающей одновременно три проблемы: предотвращение образования отложений, снижение скорости коррозии конструкционных материалов на основе меди и недопущение биологического обрастания системы охлаждения. Кроме того, влияние качества охлаждающей воды и корректирующих реагентов на коррозию медьсодержащих сплавов в высокоминерализованной воде систем охлаждения конденсаторов турбин также практически не изучено. Одним из перспективных методов решения данной проблемы является использование пленкообразующих аминов (в частности хеламина и октадециламина - ОДА), однако информация по данному вопросу практически отсутствует [8,9]. Поэтому важной является задача оптимизации ВХР систем оборотного охлаждения конденсаторов турбин с целью снижения скорости коррозии латуни [10].

Основные требования к охлаждающей воде в системах оборотного охлаждения сводятся к тому, чтобы она имела необходимую для охлаждения потребителя температуру, не вызывала при нагреве образования отложений и биообрастаний

теплопередающих поверхностей и трубопроводов, и не приводила к коррозии оборудования и трубопроводов.

В системах оборотного охлаждения, в результате многократного повторного использования охлаждающей воды, происходит увеличение общего солесодержания и жесткости воды, что существенно влияет, с одной стороны, на интенсивность протекания коррозионных процессов, а с другой - на скорость образования отложений на трубных поверхностях конденсаторов [11-12].

Отложения минеральных примесей, как в градирнях, так и на поверхности трубок конденсаторов турбин снижают эффективность теплопередачи и, как следствие, КПД энергоблока. Кроме того, отложения увеличивают гидравлическое сопротивление тракта, что повышает расход электроэнергии при эксплуатации системы. Для предотвращения образования минеральных отложений в конденсаторах турбин применяют: продувку системы; физическую обработку воды в магнитном или акустическом поле; обработку воды с помощью химических реагентов.

Методика исследований. Следует отметить, что использование продувки для снижения накипеобразования лимитировано возможностями источника исходной воды и экономическими составляющими (платой за исходную воду и сброс продувочной воды) [13].

Физическая обработка воды в магнитном поле не показала стабильных результатов, поэтому его применение ограничено фактором надежности работы. Выяснено, что стабилизационная обработка воды, используемыми в нашей стране реагентами - кислотой и фосфонатами, позволяет снизить скорость роста отложений.

Однако из зарубежных публикаций [14-15] следует, что наиболее эффективными методами ведения ВХР системы охлаждения является использование комплексных программ ингибирования и пленкообразующих аминов. Одной из наиболее известных комплексных программ является программа компании GE Water; наиболее распространенными пленкообразующими аминами - хеламин и ОДА. Однако данные по влиянию всех перечисленных реагентов на скорость коррозии латуни отсутствуют.

Таким образом, на основании проведенного обзора литературных данных сформулирована задача о необходимости изучения влияния качества охлаждающей воды и различных корректирующих реагентов на скорость коррозии латуни [15-17].

Состав охлаждающей воды различается значительно и может сильно влиять на протекание коррозионных процессов в тракте системы охлаждения. Поэтому были проведены опыты по изучению скорости коррозии латуни в водах, состав и качество которых характерно для систем оборотного охлаждения в системе ТЭС Минэнерго Узбекистана, а также на воде, качество которой характерно для добавочной воды на ТЭС энергосистемы. В табл.1 приведены данные о составе вод, которые использовались для проведения опытов. Из этих данных следует, что использованные в опытах воды значительно различаются, в первую очередь по содержанию в них хлоридов и сульфатов, т.е. по наличию коррозионно-активных примесей [18]. В результате обработки экспериментальных данных в программе

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Mathcad 13, было выведено уравнение, показывающее зависимость скорости коррозии латуни от концентрации хлоридов в охлаждающей воде:

$$Q_{\text{кор}} = 7,64 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,077 \cdot C_{\text{Cl}^-}} + 1,47, \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч.}$$

Таблица 1

Химический состав вод, традиционных для ТЭС Узбекистана

Наименование показателя	рН, Ед.	Сухой остаток, мг/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Ж, мг-экв/дм ³	Щ, мг-экв/дм ³
Вода 1	8,40	321	29,7	26,4	-	-
Вода 2	8,32	471	98,1	50,0	-	-
Вода 3	8,45	-	71,8	44,4	5,68	4,0
Вода 4	7,70	193	20,0	27,7	3,63	2,6
Вода 5	8,89	323	54,2	46,9	5,60	3,9

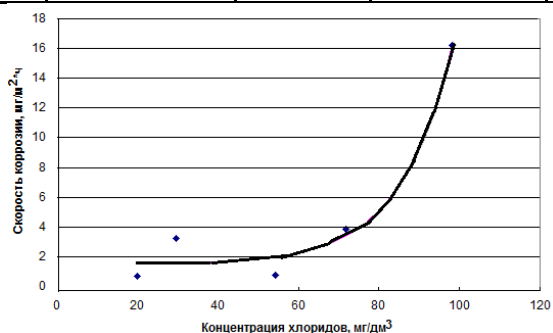


Рис.1. Изменение скорости коррозии латуни Л-68 в зависимости от содержания хлоридов в охлаждающей воде (рН =7,7 – 8,9)

Выводы. 1. Анализ литературных данных показал, что в настоящее время на ТЭС с оборотными системами охлаждения отсутствуют эффективные методы предотвращения коррозии медьсодержащих материалов.

2. Дана оценка влияния отдельных параметров (концентрации хлоридов, сульфатов и солесодержания охлаждающей воды на скорость коррозии латуни в охлаждающей воде в химических режимах.

3. Получены математические зависимости, позволяющие прогнозировать скорость коррозии латуни от концентрации в охлаждающей воде только хлоридов и суммарного содержания хлоридов и сульфатов.

4. Определена скорость коррозии латуни в охлаждающей воде в присутствии различных корректирующих реагентов.

Литература

1. Андреюк И., Билай В.И., Коваль Э.З. Микробиологическая коррозия и её возбудители. - Киев: Наукова Думка 1980. - 120 с.

2. Анисимова О.С., Бродов Ю.М1, Юдина- Е.А. Коррозионная стойкость конденсаторных труб //Теплоэнергетика, 1984, - № 8. - С. 71-73.

3. Никитин В.И. Коррозионные повреждения конденсаторов паровых турбин и определение остаточного ресурса их трубной системы. Теплоэнергетика. № 11,2001 - С.41-44.
4. Богачёв А.Ф. Изучение и предотвращение коррозии металла в зонах фазовых превращений энергетических установок. // Теплоэнергетика. 1996. № 8. -С. 17-24.
5. Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок. /Под. Ред. Ю.М. Бродова. -Екатеринбург: УПИ, 2004.
6. Вайнман А.Б., Мартынова О.И., Малахов В.А. Исследование коррозионно-механического повреждения труб горизонтальных сетевых подогревателей турбин Т-250/3 00-240. Теплоэнергетика. 1997. №6. -С.17-22.
7. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин. - М: Энергоатомиздат,1994. - 288 с.
8. Рябчиков А.Ю. и др, Обобщение опыта совершенствования кожухотрубных теплообменных аппаратов паротурбинных установок в условиях эксплуатации. //Электрические станции. 2005, -№11. - С.33- 38.
9. Путилов В.Я. Экология энергетики. Москва:МЭИ, 2003. - 715 с.
10. СНиП 2.04.02-84: Охлаждающие системы оборотного водоснабжения.
11. Временные методические рекомендации по расчету предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ в водные объекты со сточными водами / Утв. Ленкомприроды 30.12.89, 1990 г.
12. СанПиН РУз № 0318-15. Гигиенические и противоэпидемические требования к охране воды водоёмов на территории Республики Узбекистан.
13. РД 34.37.307-87. Методические указания по прогнозированию химического состава и накипеобразующих свойств охлаждающей воды электростанций. Межгосударственный стандарт стран СНГ. 2006.
14. Антонов В.В. Опыт применения ингибиторов солеотложения. Энергосбережение и водоподготовка. 1998. -№3. - С.38-42.
15. Дубровский И.Я., Эскин Н.Б., Тугов А.Н. Экспериментальные исследования поведения октадециламина в перегретом паре и на контактирующих с ним металлах. Теплоэнергетика. 2004. -№ 7. - С.32-35.
16. Харвей М. Хирроу, Роберт Д. Порт. Руководство Nalko по анализу причин коррозионных повреждений в системах водяного охлаждения. McGraw-Hill, 1993
17. Bouyer, S., mbert, C., Rhodier, M.H., Hechard, Y., Recueil, I. 7 ernes Journees Information Eaих(ЛПЕ), 2006 (Poitiers, France). Association de Professionnels du Traitement des Eaux et des Nuisances, Poitiers, France.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 628.171

MATHEMATICAL MODELING OF WATER FLOW IN THE RECIRCULATING COOLING SYSTEM OF A THERMAL POWER PLANT

F.Sh. Umardjanova, Sh.S. Mavjudova

O'zbekiston issiqlik elektr stansiyalarida issiqlik elektr stansiyasining suvni tozalash stansiyasida kondensator turbinalarida isitiladigan eng qulay va doimiy sifatli suv ishlatiladigan oqimsiz aylanma sovutish tizimi keng tarqalgan. Aylanma sovutish tizimi texnik xom suvdan foydalanligi sababli, turbina kondensatorlarida issiqlik uzatish yuzalarida past eruvchan (cho'kindi) qurumlari hosil bo'ladi. Sovutish minoralarida suv bug'lanishida cho'kma hosil bo'lishining sababi suv tarkibidagi kam eriydigan komponent kontsentratsiyasi hisoblanadi. Kondensatorlarning issiqlik almashinuvi yuzasida hosil bo'lgan qurumlarning past issiqlik o'tkazuvchanligi tufayli bosim ko'tariladi. Ilmiy va texnik adabiyotlardan ma'lumki, turbina kondensatorlaridagi bosim sovutish yuzasining ifloslanishiga bog'liq. Shu sababli vakuum yomonlashadi. Vakuumning yomonlashishi bug'ning ortiqcha sarflanishiga olib keladi. Shunday qilib, ushbu ishning maqsadi issiqlik elektr stansiyasining aylanma sovutish tizimining samaradorligini oshirishdir.

Kalit so'zlar: *issiqlik elektr stansiyalari, turbine kondensatorlari, aylanma sovutish tizimi, issiqlik o'tkazuvchanlik, sovutish yuzasi.*

На тепловых электростанциях Узбекистана широко распространена бессточная рециркуляционная система охлаждения, при которой вода наиболее благоприятного и постоянного качества, нагретая в конденсаторных турбинах, используется в цехе водоподготовки тепловой электростанции. Поскольку в системе рециркуляционного охлаждения используется техническая сырая вода, на поверхностях теплообмена в конденсаторах турбин образуются отложения низкой растворимости (накипь). Считается, что причиной выпадения осадков является концентрация малорастворимых компонентов воды при испарении воды в градирнях. Из-за низкой теплопроводности отложений, образующихся на теплообменной поверхности конденсаторов, давление повышается. Как известно из научно-технической литературы, давление в конденсаторах турбины зависит от загрязнения охлаждающей поверхности. Из-за этого вакуум ухудшается. Ухудшение вакуума приводит к перерасходу пара. Таким образом, целью данной работы является повышение эффективности работы системы рециркуляционного охлаждения тепловой электростанции.

Ключевые слова: *тепловая электростанция, конденсаторы турбины, циркуляционная система охлаждения, теплопроводность, охлаждающая поверхность.*

In thermal power plants in Uzbekistan, the drainless recycling cooling system is widespread, in which water of the most favorable and constant quality and heated in the

condenser turbines are used in the water treatment plant thermal power plant. Since the recycling cooling system uses technical raw water, low solubility deposits (scale) are formed on heat exchange surfaces in turbine capacitors. It is believed that the cause of precipitation is the concentration of low soluble water components by evaporation of water in cooling towers. Due to the low thermal conductivity of the deposits formed on the heat exchange surface of the capacitors, the temperature pressure increases. As is known from the scientific and technical literature, the pressure in the turbine capacitors depends on the contamination of the cooling surface. Because of this, the vacuum worsens. The deterioration of the vacuum leads to an over-consumption of steam. Thus, the aim of this work is to increase the operational efficiency of the recycling cooling system of the thermal power plant.

Keywords: *thermal power plant, condenser turbines, circulating cooling system, thermal conductivity, cooling surface.*

Three types of technical water supply are mainly used in power plants: revolving, direct and combined [1]. The most common negotiable. In revolving systems is mandatory the presence of a water cooler. Its functions can be performed by cooling water, cooling towers or spray pools. The water supply system with water cooler is the most common in the existing condensation plants. In this system, the main building of the power plant is usually located near the shore of the reservoir, and the circulation pumps in the shore pump.

Cooling in the water cooler occurs as a result of contact between water and air when it moves both within the water area and in the height of the water layer. The heat supplied in large quantities with heating in the condensers is discharged mainly by evaporative cooling. Such cooling significantly increases the heat exchange rate between air and water [2,3]. The water temperature may be below the ambient temperature. This difference increases with decreasing relative humidity.

The technical water supply scheme with cooling towers usually includes a central pumping station located at the permanent end of the engine room of the main building of thermal power plants (TPP). After the cooling water is cooled, it flows through reinforced concrete channels to the inlet of the circulation pumps. Their installation ensures work under the bay. In the pumping stations of modern large thermal power plants with cooling towers are used both conventional centrifugal and axial vertical pumps [1-3].

The main requirements for the quality of the cooling water are that it has a temperature that ensures the required vacuum depth in the condenser, does not recover when heating the formation in the cooling system of mineral deposits and biological fountains, as well as corrosion of equipment and pipelines. Naturally, at such high costs of water, cooling capacitors, oil and gas coolers, it is inappropriate to ask for its thorough cleaning with the removal of all impurities prone to the formation of sediments and corrosion on the materials of the cooling system. In [4-9] a method is proposed, which allows to calculate sufficiently accurately the change of salt composition of circulating water in circulating cooling systems.

In cooling towers or spray pools, the return water temperature is reduced by evaporation of a part of the heated water in the water condenser and convective heat exchange when in contact with air, then the water is returned to the heat exchangers-capacitors (Fig.1).

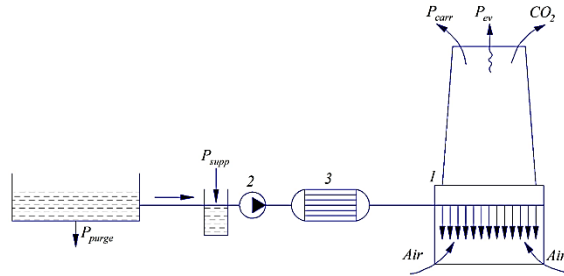


Fig.1. Cooling circuit with cooling tower: 1-cooling tower; 2-circulating pump; 3-capacitor; P_{vap} , P_{dr} – water loss in the cooling tower for evaporation and drift; P_{sw} – swilling; P_{add} – adding fresh water to the system

In cooling towers part of circulating (cooling) water is lost due to drip drift ($P_{yh} = 0,05 - 3,5\%$) and evaporation ($P_{исп} = 1,0 - 1,5\%$).

The evaporated moisture is pure water, so by evaporation, the salt content of the water in the revolving system increases [1-3]. The salt is regulated by water exchange by flushing the system $P_{прод}$. The observed losses are compensated by adding water to the system:

$$P_{add} = P_{vap} + P_{dr} + P_{sw}. \quad (1)$$

For salts that do not form hard-soluble compounds, when the water in the cooling system is heated, the mass balance in the established mode is recorded as:

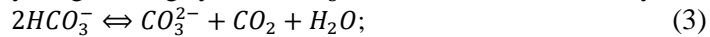
$$C_{add} \cdot P_{add} = C_{circ} \cdot (P_{dr} + P_{sw}) = C_{circ} \cdot (P_{add} - P_{vap}); \quad (2)$$

where C_{circ} , C_{add} – concentration of salts (ionized impurities) in additive and circulating waters.

From (2) follows, relation $\frac{C_{circ}}{C_{add}}$, called concentration factor K_K , is determined by the value of the circulation water loss with purge and drip drift (table 1). Also K_K are called the evaporation factor [9-11].

The reduction of the flushing value leads to an increase in the concentration multiplicity and, consequently, to a significant increase in the saline content of the circulation water. When $P_{sw} = 0$ indicator K_K is determined by the water loss in the system due to drip drift.

In addition to the concentration of soluble salts in the recycling cooling system, the concentration of hardness salts and hydrocarbons increases in the same multiplicity. The process of formation of carbonate sediments in heat exchangers [2] will be determined by the shift of carbon dioxide equilibrium during water heating [11-14]. Hydrolysis intensifies as water temperature rises in the recycling cooling system HCO_3^- , which is characterized by the:



Shift of the right reaction (3), i.e. decay of ions HCO_3^- and the formation CO_3^{2-} . The loss of carbon dioxide produced by hydrolysis in the cooling tower [5, 6] (similar to the decarbonizer process) also contributes.

These factors lead to the possibility of separation on the heat exchange surface of the sediments $CaCO_3$ (water overload (WO) $CaCO_3$), i.e. loss of coolant water stability [7-11]

when the product of interacting components exceeds $WO_{CaCO_3} < a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}}$ [14-19]. Calcium sulphate has a relatively high solubility at $t = 20 - 40$ °C (around $1800 \frac{mg}{dm^3}$), therefore, it is rare in low temperature sediments.

Table 1

Concentration coefficient depends on blowing of the revolving cooling system

Flushing, %	Cooling towers with drop catchers Cooling tower without drop catchers	Cooling towers with drop catchers Cooling tower without drop catchers
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

Since the thermal conductivity of the calcium sediments is an order of magnitude less than the thermal conductivity of the metal of the condenser tubes, as the thickness of the scale increases, the vapor condensation temperature increases and the vacuum in the condenser decreases. The deterioration of the vacuum by 1% requires an increase in the steam consumption by 1.4% to maintain the nominal capacity of the turbocharger. Thus, sediments in the revolving cooling system (revolving cooling system) cause significant fuel burning during power generation.

Despite this fact, and the fact that in a rotating cooling system with cooling towers, the temperature of the cooling water at the inlet to the condensers is higher than in direct current systems with reservoirs, the use of cooling towers allowed to dramatically reduce the discharge of heated water into watercourses and water bodies, preventing their «heat» poisoning. Moreover, these revolving systems are only acceptable under conditions of limited water flow.

Mathematical model for calculation of material balance of circulating cooling system. Here and further, by recycling cooling system we mean part of the recycling cooling system from the cooling water side, including cooling water and the boundaries of the solid and gas phase. Simulating a real revolving cooling system and determining the material balance presents some difficulties. First of all, it is due to the large volume of the system (the mass of water in the revolving cooling system). In addition, the water volume (mass) of the system is variable over time and can both increase and decrease depending on the ratio of inputs and outputs. Water and air flows themselves (m_i , i – sequence flow index) and concentrations of substances contained therein (concentrations j -th independent components – c_j) changing in a complex, unpredictable way over time. Under such conditions, calculation of the known equations (1-4) is either not possible or leads to large errors in which the results of calculations are devoid of physical sense.

As part of the system approach, the TPP recycling system should be considered as a flow, continuous system with non-stationary operation. Thermal mode of operation - intermediate. However, given the long length of the system, the small temperature interval,

and therefore the very small temperature gradient, for most of the revolving cooling system, it is possible to adopt the thermal regime as quasi-thermal isothermal. The revolving cooling system is a closed system in which the apparatus and piping circulate water by a mixing device - pumps. From a thermodynamic point of view, a revolving cooling system is an open material system, because there is mass and heat exchange with the environment. Chemical reactions and physical-chemical processes take place in the revolving cooling system. Reactions occur in all phases - liquid (equilibrium chemical reactions), solid (low solubility deposits, internal corrosion and corrosion product dissolution) and gas (volatile air mass exchange). For such cases, the equations of material and thermal balances are given only in general terms (in the form of partial differential equations). To make them suitable for engineering calculations, a detailed review of the specific system is needed to determine the permissible simplifications that allow for the simplest but adequate description of the system.

In general, the flow diagram and structure of the TPP revolving cooling system for calculating the material balance can be presented as shown in fig. 2. Further simplification of the scheme is not possible.

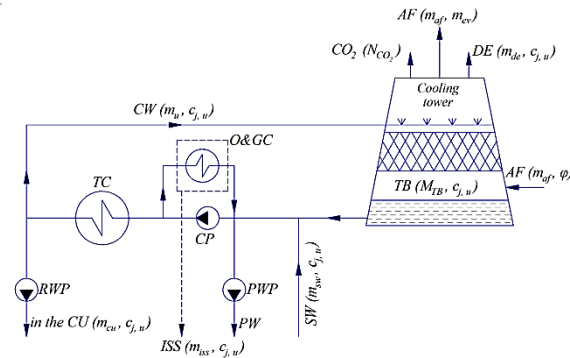


Fig. 2. Schematic diagram of the revolving cooling system of the thermal power plant for calculating the material balance: Symbols: CT – cooling tower; TC – cooling tower’s cup; CP – circulation pump; TC – turbine condensers; RWP – raw water pump; PWP – process water pump; AW – added water; CW – circulating water; O&GC – oil gas coolers and other heat exchangers, incl. purification plants included; B – air flow; DD – drip drift; ISS – industrial storm drain. In parentheses is the number of units

In the revolving cooling system, the two main material inputs are additive water (from p. Chirchik, $m_a, c_{j,a}$) and air flows to cooling towers (m_b, φ – humidity). There is still a small return of sludge chemical water treatment, which in the first approximation can be neglected, or considered permanent (approximately $2,2 \frac{m^3}{hour}$).

Output flows are represented by water consumption in the chemical workshop at the water treatment plant («raw» water, $m_{хл}, c_{j,хл}$), evaporation of water in cooling towers (m_{vap}), droplet drift of circulating water in cooling towers ($m_{r.dr}, c_{j,c}$) и hydrocarbon drift with air flow (m_{CO_2}). There is still an intermittent time discharge of circulating water to the prominent

sewerage (due to overflow of water in cooling towers and leaks from pipelines and TPP equipment) and intake of circulating (technical) water to the needs of workshops (TW).

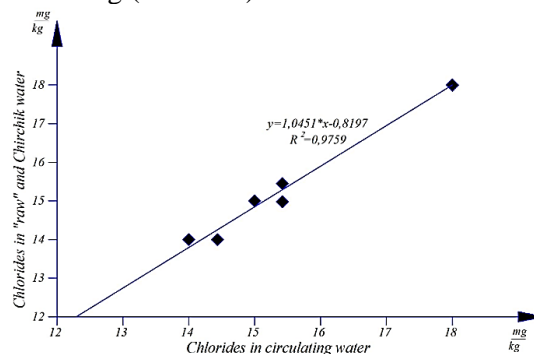


Fig. 3. Chloride concentration in different parts of the TPP recycling cooling system and in the Volga water additive at the time τ_1 during the experiment in July 2022. Average concentration of chlorides in the additional water of the – $12,3 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$

Derivation of equations for calculation of material balance of circulating cooling system of thermal power plant. First of all, let's make acceptable simplifications and define limitations. In particular, the hydrodynamic situation or complexity of the flow structure is of paramount importance. Logically, a combined model constructed as a collection of cells of different types and sizes connected in series and in parallel is suitable as a model for a revolving cooling system.

Direct experiments were conducted to determine the hydrodynamic situation in the revolving cooling system. During scheduled experiments in May and July 2022, the chemical composition of the water was determined twice a day in different parts of the revolving cooling system (at 10:00 and 14:00). For reasons of probable maximal differences, the control points were chosen - (1) water at the outlet from the reverse cooling system («raw» water to the water treatment plant); (2) water in the cooling tower (circods) and (3) water in a gravity well (circods). Furthermore, the control points (1) and (2) are separated by cooling towers, where processes occur that maximally change the composition of water (evaporation and volatilization CO_2), and points (1) and (2) – circulation pump and additive water input. Statistical analysis of dissolved component concentrations in the output stream ("raw" water for water treatment plant) and different points of the revolving cooling system at the time τ_1 does not show a valid difference (fig. 3 and 4).

This also applies to substances knowingly active in chemical reactions and physical-chemical processes. Their content reflects the total alkalinity of water. For a certain point in time, the alkalinity in different parts of the revolving cooling system is the same within the error of experience and is reliably different from the alkalinity of the additive water. This pattern is typical for other periods of work. On picture A comparison of the average monthly total alkalinity over the last five years is presented.

Summarizing the above, it is possible to write for the revolving cooling system. System type - flow (continuous), closed, open material; flow structure - ideal mix; operation mode -

non-stationary, thermal operation - isothermal (quasi-static). Chemical, biochemical and physical-chemical processes in the system are non-stationary: $m_i, c_j \neq const$. The fluxes and concentrations of components(s) in flows are variable over time, i.e. $(m_i)_\tau, (c_j)_\tau = f(\tau)M_p, M_{чг} \neq const$. Water masses in the system and parts thereof are variable in time – $(M_p)_\tau, (M_{tc})_\tau = f(\tau)$.

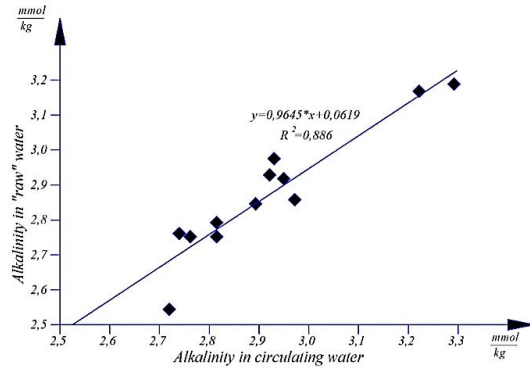


Fig. 4. Total alkalinity in different parts of the TPP revolving cooling system at time τ_i in July 2022. Total alkalinity of the additive Chirchic water – $2,305 \frac{\text{mmol}}{\text{кг}}$

The water mass balance of the revolving cooling system is recorded as:

$$(m_a)_\tau \cdot d\tau - (m_{vap})_\tau \cdot d\tau - (m_{dr})_\tau \cdot d\tau - (m_{ch.sh})_\tau \cdot d\tau - (m_{isd})_\tau \cdot d\tau = d(M_p)_\tau. \quad (5)$$

Balance for j -th not developing or transitioning to other phases:

$$(m_a)_\tau \cdot (c_{j,a})_\tau \cdot d\tau - (m_{dr})_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau - (m_{ch.sh})_\tau \cdot d(c_{j,ch.sh})_\tau \cdot \tau - (m_{isd})_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau = (M_p)_\tau \cdot d(c_{j,c})_\tau. \quad (6)$$

For the rest of components:

$$(m_a)_\tau \cdot (c_{j,a})_\tau \cdot d\tau = (m_{dr})_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau + (m_{ch.sh})_\tau \cdot d(c_{j,ch.sh})_\tau \cdot \tau + (m_{isd})_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau + (M_p)_\tau \cdot d(c)_{\tau} + dN_{j,c}; \quad (7)$$

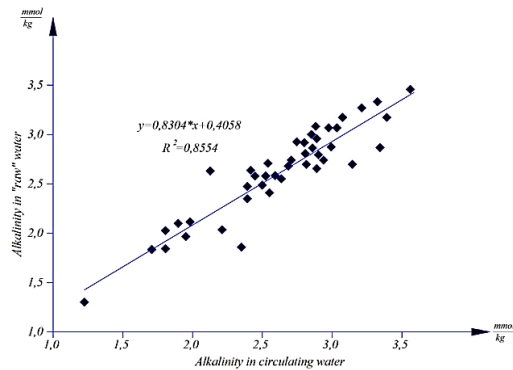


Fig. 5. Ratio of total alkalinity (average monthly values) in circods and «raw» water in the recycling cooling system of thermal power plants in 2020 – 2022

where $N_{j,и}$ – The number of components that have been transformed into other components as a result of chemical reactions or have changed phases from circulating water.

So we get the system from $m + 1$ simple differential equations, which is a model that describes the movement, accumulation and transformation of components and flows in a revolving cooling system. Equations (5–7) can be represented in the form of a certain integral:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} (m_a)_\tau \cdot (c_{j,a})_\tau \cdot d\tau - \int_{\tau_1}^{\tau_2} (m_{dr})_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau - \int_{\tau_1}^{\tau_2} (m_{ch.sh})_\tau \cdot d(c_{j,ch.sh})_\tau \cdot \tau = \\ = \int_{c_{j,c1}}^{c_{j,c2}} (M_p)_\tau \cdot d(c_{j,c})_\tau + \int_{N_{j,c1}}^{N_{j,c2}} dN_{j,c}; \quad (8)$$

boundary conditions: at $\tau = \tau_1$, $c_{j,c} = c_{j,c1}$, $N_{j,c} = N_{j,c1}$, $M_p = M_{p1}$, $\tau = \tau_2$, $c_{j,c} = c_{j,c2}$, $N_{j,c} = N_{j,c2}$, $M_p = M_{p2}$.

In real conditions the values of additive water consumption, water consumption in the chemical plant, the concentration of substances in the additive, circulating and «raw» (comes to the chemical plant from the recycling system) water are known. These are model input parameters. The evaporation, drip drift and other leaks and the amount of precipitation generated are unknown or need to be clarified.

Equations of type (8) can be resolved explicitly by quadrature with respect to the mean values of parameters for the time interval Δx . The equations were approximated by a system of algebraic equations.

Joint solution of integral forms of equations 5 and 6 for components not involved in chemical transformations and inter-phase transitions allows finding water costs for evaporation and leakage (drip drift, flow rate in ISD and for the needs of the workshops - technical water consumption).

$$\bar{m}_{dr} = \bar{m}_a \cdot \frac{\bar{c}_{j,a}}{\bar{c}_{j,c}} - \frac{\bar{M}_p}{\bar{c}_{j,c}} \cdot \frac{\Delta c_{j,c}}{\Delta \tau}; \quad (9)$$

$$m_{dr} = m_{dd} + m_{ch.sh} + m_{isd} + m_{sw}; \quad (10)$$

$$\bar{m}_{vap} = \bar{m}_a - m_{dr} - \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}. \quad (11)$$

Additional consideration of the balance equations for the remaining components (sediment and carbon dioxide) allows determination of precipitation rates in the revolving cooling and drift system CO_2 :

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

The system of algebraic equations 10-12 was further used to calculate the material balance of the TPP recycling system by processing a data set of flow volume values and concentrations of substances in flows. Further, in order to determine the dependence of the water concentration of the revolving cooling system on time, the original system of differential equations 5-6 was allowed for non-contracting components. Let's think of the basic equation as:

$$m_a \cdot c_{j,a} \cdot d\tau - m_{dr} \cdot c_{j,c} \cdot d\tau = M_p \cdot dc_{j,c} + dN_{j,c}; \quad (13)$$

where m_{dr} – all types of treatment (leaks) circulating water in liquid form. Consequently $m_y + \frac{\Delta M}{\Delta \tau} = m_a - m_{vap}$. Note that for non-participants component $dN_j = 0$ and designate $c_{j,c} = x$. Then after conversion, equation 13 is:

$$\frac{m_a}{m_a - m_{vap}} \cdot c_{j,a} \cdot d\tau - x \cdot d\tau = \frac{M_p}{m_a - m_{vap}} \cdot dx \quad (14)$$

or

$$\left(\frac{m_a}{m_a - m_{vap}} \cdot c_{j,a} - x \right) \cdot d\tau = \frac{M_p}{m_a - m_{vap}} \cdot dx. \quad (15)$$

After separating the variables, we integrate under the following boundary conditions:

$\tau_1, c_{j,c} = c_{j,c1}$; at $\tau_2, c_{j,c} = c_{j,c2}$:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{m_a - m_{vap}}{M_p} \cdot d\tau = \int_{c_{j,c1}}^{c_{j,c2}} \frac{dx}{\left(\frac{m_a}{m_a - m_{vap}} \cdot c_{j,a} - x \right)}. \quad (16)$$

Presented integral expression we can solve only approximatively, т.к. m_a, m_{vap} and M_p time-dependent, but the type of dependency is unknown to us. For example, by quadrating, you can take their averages over a selected period of time. Then the integral is solved analytically. As a result, we get:

$$\frac{\bar{m}_a - \bar{m}_{vap}}{\bar{M}_p} \cdot d\tau = \ln \left(\frac{\bar{\varphi} \cdot c_{j,a} - c_{j,c1}}{\bar{\varphi} \cdot c_{j,a} - c_{j,c2}} \right); \quad (17)$$

$$\frac{\bar{m}_{vap} + \bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}}{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}} = \frac{\bar{m}_a}{\bar{m}_a - \bar{m}_{vap}} = \frac{\bar{m}_a}{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}} = \bar{\varphi} - \text{average evaporation rate } (K_{dr}) \text{ for period } \Delta \tau.$$

Here and further the change in the mass of water in the circulating cooling system refers to the unit of time ($\Delta M_p = \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}$). Unlike the equations in the literature (1-4), this ratio is not equal to the concentration ratio, so $\varphi \neq K_{con}$; $K_{con} = \frac{c_{j,c}}{c_{j,a}}$. Equation 17 can be represented as

an exponent:
$$\frac{\bar{\varphi} \cdot c_{j,a} - c_{j,c1}}{\bar{\varphi} \cdot c_{j,a} - c_{j,c2}} = e^{-\left(\frac{\bar{m}_a - \bar{m}_{vap}}{\bar{M}_p} \right) \cdot \Delta \tau}. \quad (18)$$

By transforming equation (18), the concentration of components(s) in the water of the circulating cooling system can be related to time, flow rate and initial concentrations of substances in flows:

$$c_{j,c2} = \frac{\bar{m}_a}{\bar{m}_{dr} + \Delta M_p} \cdot c_{j,a} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}}{\bar{M}_p} \right)} \right) + c_{j,c1} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}}{\bar{M}_p} \right)}. \quad (19)$$

For the concentration ratio this dependence will be:

$$K_{con2} = \frac{c_{j,c2}}{c_{j,a}} = \frac{\bar{m}_a}{\bar{m}_{dr} + \Delta M_p} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}}{\bar{M}_p} \right)} \right) + \frac{c_{j,c1}}{c_{j,a}} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}}{\bar{M}_p} \right)}. \quad (20)$$

Accept that, $\frac{\Delta M_p}{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta \tau}} = \bar{\tau}$ – average residence time of additive water in the revolving cooling system, a $\frac{\bar{m}_{dr}}{\bar{M}_p} \cdot \Delta \tau = \frac{\Delta \tau}{\tau} = \gamma$ – frequency of water renewal (replacement) in the revolving cooling system. Then the concentration ratio at the end of the time interval (for $\tau = \tau_2$) will be:

$$K_{con2} = \bar{\varphi} \cdot (1 - e^{-\gamma}) + K_{con1} \cdot e^{-\gamma}; \quad (21)$$

where K_{con1} – concentration ratio at the beginning of the time interval (for $\tau = \tau_1$). Time within which circulation water changes (from $c_{j,c1}$ to $c_{j,c2}$) can be determined by equation:

$$\Delta\tau = \frac{\bar{M}_p}{\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta\tau}} \cdot \ln \left[\frac{\bar{m}_a \cdot \bar{c}_{j,a} - \left(\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta\tau}\right) \cdot c_{j,c1}}{\bar{m}_a \cdot \bar{c}_{j,a} - \left(\bar{m}_{dr} + \frac{\Delta M_p}{\Delta\tau}\right) \cdot c_{j,c2}} \right]; \quad (22)$$

the same for the time concentration factor will be:

$$\Delta\tau = \bar{\tau} \cdot \ln \left(\frac{\bar{\varphi} - K_{con1}}{\bar{\varphi} - K_{con2}} \right). \quad (23)$$

By converting equation 23, one can express the time when the water is replaced by the recycling cooling system by the additive water. It follows from the ideal mixing condition that there is no complete replacement of the circulating water with the additive water in continuous operation. We can only talk about partial water replacement, for example, 50%, 90%, 99%. If you specify the share of water replacement of the revolving cooling system with additive – α ($\alpha \leq 0 \leq 1$), then, Taking into account the concentration of water in the revolving cooling system, the time for the replacement of water by $\alpha \cdot 100\%$ (τ_α) will be:

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

Similarly, it is possible to allow a fraction of the remaining unused water to the recycling cooling system. If $1 - \alpha = \beta$ – percentage of remaining water not replaced, then:

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

and

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

If you replace absolute values of flows by their share (p_i , %) relatively circulating water $m_c - \frac{m_a \cdot 100}{m_c} = p_a$; $\frac{m_{dr} \cdot 100}{m_c} = p_{dr}$; $\frac{m_{vap} \cdot 100}{m_c} = p_{vap}$, then the main indicators in equations 19-27 will depend on the percentage of flows, and $\bar{\tau}$ will make sense the average water turnover time in the revolving cooling system. If accept that: system operating time is very long ($\tau \rightarrow \infty$); system mass is negligible ($M_p = 0$); no change in water mass in the system ($\Delta M_p = 0$); all water and air flows are stationary, i.e. constant in time ($m_i = const$); concentration of the component(s) in the additive water is constant ($c_{j,a} = const$); in water recycling cooling system independent components j do not participate in chemical transformations and phase transitions, i.e. do not fall into sediments and gas phase, the basic equation 20 is simplified to the equation known in the literature:

$$\bar{K}_{dr} = \frac{\bar{c}_c}{\bar{c}_a} = \frac{\bar{m}_a}{\bar{m}_a - \bar{m}_{vap}}. \quad (27)$$

Thus, the known equation is the expression of a special case of an ideal system for which the conditions described above are met (conditions 1 to 6). Experience has shown that a system closes to perfect can only be replicated in a laboratory setting. Real TPP recycling systems are far from ideal and require a more complex system of equations (models) to describe.

Literature

1. Abramov N.N. Water Supply. - M.: Stroydizt, 1982. - 440 p.
2. Burov V.D., Dorokhov E.V., Elizarov D.P. et al. Thermal power stations. - M.: Prod- v MPEI, 2005. – 454 p.
3. Usmonov N.O., Mavjudova Sh.S., Ivanisova A.R. Mathematical modeling of heat and mass exchange processes in the evaporative cooler/ Web of Conferences, 2021. 304.

5. Kot A.A., Bondar Y.F., Troysky R.K. Prediction of salt composition of water in revolving cooling systems // Heat and power engineering. 1978. 3, pp. 58-60.
6. Chichirov A.A., Chichirova N.D., Silovo I.Y., Smirnov A.Y., Murtazin A.I. Mathematical Modeling of Material Flows in the Circulating Cooling System of TES// Energy Problems. Izvestia Izvestia University. 2008. 3-4, - P. 28-34.
7. Tsarik D.F. Method of determination of average thickness of the scale // Water supply and sanitation equipment. 1990. 7. – P. 9-10.
8. F.Mukhtarov. Analysis of ionic equilibria by water treatment stage and calculation of monitored parameters. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1142 (2023).
9. Usmonov N.O., Abdullabekov Yu.U., Axmatova S.R. Development of an experimental facility for cooling circulated water of industrial plants. E3S Web of Conferences, 2021. 304, 01011.
10. Usmonov N.O., Isakhodjayev Kh.S., Koroli M.A. Determining the Parameters of the Fluid Layer with a Rigid Mobile Nozzle, Thermal Engineering, (2021).Vol. 68(3).
11. Johannsen P., Karlapudi R., Reinhold G. High pressure reverse osmosis for wastewater minimization and zero liquid discharge applications, Desalination 199, 84-85 (2006).
12. Dunn R.F. El-Halwagi M. Process integration technology review: Background and applications in the chemical process industry. Chem. Technol. Biotechnol. 2003, 78.
13. 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.
14. Isakhodjayev Kh.S, Usmonov N.O., Abdullabekov Y.U., Xasanov Z.Y. 2020 Experimental electro coagulation unit for pretreatment of mains water for steam generation at thermal power plants. E3S Web of Conf. 216 (01126).
15. Sun J., Feng X., Wang Y. Cooling-water system optimization with a novel two-step sequential. Appl. Therm. Eng. 2015, 89, 1006–1013.
16. 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.
17. 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).
18. Aliev A.F. “Prevention of scale formation in circulating service water supply systems using highly mineralized waters,” Therm. Eng. 53, 644-647 (2006).
19. Balaban-Irmenin Yu.M., Boglovsky A.V., Vasina L.G., Rubashov A.M. Regularities of the formation of heating in water heating equipment //Energy saving and water treatment. - 2004. 3, - P. 10-16.

*Presented by Tashkent state
technical university*

УДК 676.056.521

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ И СУШКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

Я.Д. Мухиддинова

Мақолада кунгабоқар уругини қуритиш учун фонтан қатламли аппаратдан фойдаланишининг мақсадга мувофиқлиги ва самарадорлиги кўрсатилган. Кунгабоқар уруғларининг иссиқлик-технологик ишлов бериш объекти сифатида хусусиятлари ўрганилган ва умумлаштирилган, уларни қуритиш жараёнларини билиш ҳисоблаш учун катта аҳамиятга эга. Қуритишнинг ишлаб чиқилган математик модели уни саноатда, режим параметрлари оралигида қўлланиладиган кенг қўламли материаллар учун ишлатишига, жараённинг локал ва интеграл хусусиятлари тўғрисидаги маълумотларни сезиларли даражада кенгайтиришига, шу билан бирга экспериментал тадқиқотлар ҳажмини камайтиришига имкон беради. Материалдаги намликнинг ички тарқалиш коэффициентлари, *massa* алмашинуви ва қуритиш жараёнининг унинг ёғлилиги ва биокимёсига таъсири бўйича янги экспериментал маълумотларни ишлаб чиқиш, кунгабоқар уруғларининг термик ишлов бериш объекти сифатида хусусиятларини аниқлаш, шунингдек, унинг сифатини яхшилаш (ёғ ь миқдори ва биокимёвий ўлчов), бу асосан таъсир қилади Сувсизланиш жараёни илмий янгиликдир. Кунгабоқар уругини қуритиш учун фонтан қатлам аппаратини қўллаш самарадорлиги баҳоланади.

Калит сўзлар: уруғларнинг мутлақ оғирлиги, уруғларнинг нисбий зичлиги, кўтарилиш тезлиги, табиий қиялик бурчаги, иссиқлик сизими, иссиқлик ўтказувчанлиги, аэрофонтан аппарати.

В статье показана целесообразность и эффективность применения аппарата фонтанирующего слоя для сушки семян подсолнечника. Исследованы и обобщены свойства семян подсолнечника как объекта теплотехнологической обработки, знание которых имеет большое значение для расчетов процессов сушки. Разработанная математическая модель сушки позволяет использовать её для широкого круга материалов, используемых в промышленности, в диапазонах изменения режимных параметров, существенно расширить информацию о локальных и интегральных характеристиках процесса, сократив при этом объем экспериментальных исследований. Разработка экспериментальных данных по коэффициентам внутренней диффузии влаги в материале, массоотдачи и влияния процесса сушки на его масличность и биохимию, определение свойств семян подсолнечника как объекта тепло-технологической обработки, а также улучшение их качества (масличность и биохимическое измерение), на которое в значительной степени влияет процесс обезвоживания является научной новизной. Оценена эффективность применения аппарата фонтанирующего слоя для сушки семян подсолнечника.

Ключевые слова: абсолютная масса семян, относительная плотность семян, скорость витания, угол естественного откоса, теплоемкость, температуропроводимость, аэрофонтанный аппарат.

The article shows the feasibility and effectiveness of using a gushing layer apparatus for drying sunflower seeds. The properties of sunflower seeds as an object of thermal processing have been studied and generalized, knowledge of which is of great importance for calculating drying processes. The developed mathematical model of drying makes it possible to use it for a wide range of materials used in industry, in the range of changes in operating parameters, to significantly expand information about the local and integral characteristics of the process, while reducing the volume of experimental research. Development of new experimental data on the coefficients of internal diffusion of moisture in the material, mass transfer and the influence of the drying process on its oil content and biochemistry, determination of the properties of sunflower seeds as an object of thermal processing, as well as improving its quality (oil content and biochemical measurement), which is largely influenced by The dehydration process is a scientific novelty.

Keywords: absolute mass of seeds, relative density of seeds, soaring speed, angle of natural slope, heat capacity, thermal conductivity, aerial vehicle

Создание новых малоотходных и безотходных тепло-технологических процессов, высокоэффективных многофункциональных машин и аппаратов играет важную роль на путь развития рыночной экономики. Наряду с этим внимание уделяется экономии сырьевых и энергетических ресурсов и повышению качества готовой продукции.

Одним из распространенных тепло-технологических процессов является сушка растительных продуктов, которая существенно влияет на качество, время обработки и энергопотребление производимой продукции, на долю которой приходится до 60% всех энергозатрат.

Пути дальнейшего совершенствования техники сушки связаны с использованием высокоэффективных сушилок со взвешенным слоем материала, среди которых выделяются аппараты с фонтанирующим слоем, обеспечивающие не только улучшение технико-экономических показателей, но и благоприятные условия для получения высокого качества готового продукта. Последнее, требует наличия подробной информации о значениях параметров процесса и свойства обрабатываемого материала.

В настоящее время в Узбекистане практически все потребляемое республикой подсолнечное масло, импортируется из других стран. Сложившуюся обстановку можно изменить замещением импорта подсолнечного масла отечественной продукцией. Семена подсолнуха уже в настоящее время выращивают на полях нашей республики, а оборудование для производства масла можно разработать в проектных институтах и изготовить на отечественных предприятиях.

Процесс производства подсолнечного масла можно разделить на следующие стадии: созревание семян в поле; уборка; сортировка; сушка; хранение; обрушение

семян; сепарация; отжим или экстракция масла. В данной работе анализируется, стадия сушки семян подсолнечника. Сушка обеспечивает быстрое снижение влажности масла семян до величины, при которой обеспечивается безопасное хранение. Сушка является необходимой технологической операцией при подготовке масличных семян, как к хранению, так и к переработке, так как эффективность переработки также находится в прямой зависимости от оптимальной конечной влажности масличных семян.

При хранении масличных семян с повышенной влажностью быстро усиливается интенсивность биохимических процессов, особенно дыхания, как самих семян, так и находящихся на семенах микроорганизмов. Интенсивное дыхание вызывает дальнейшее повышение влажности и температуры семян и, таким образом, ускоряет их самосогревание и порчу. Высушивание масличных семян до влажности, безопасной для хранения надежно обеспечивает их длительную количественную и качественную сохранность. Так для семян высокомасличного подсолнечника, величина безопасной для хранения влажности должна находиться в пределах 6-7%.

Свежеубранные семена отличаются очень низкой стойкостью при хранении, особенно при высокой влажности и засоренности. При хранении семян химическим изменениям в первую очередь подвергаются белковые вещества.

Семена высокомасличного подсолнечника надежно хранятся, если влажность их не более 6-7%, а температура снижена до 10 °С и ниже. При влажности выше критической и температуре 20-25°С для свежесформированных партий семян подсолнечника, начинается процесс брожения микроорганизмов, интенсивно идут гидролитические и окислительные процессы, что приводит к ухудшению качества семян подсолнечника как масличного сырья.

На длительное хранение до переработки следует закладывать семена подсолнечника влажностью выше 2%, просушенные до критической влажности (6...7%) и охлажденные до низких температур.

Режимы сушки семян подсолнечника зависят от их начальной влажности, и они регламентируются инструкцией по сушке. Высшие предельные значения температуры сушки, нагрева семян подсолнечника при различных способах сушки в шахтных, прямоточных и барабанных сушилках приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Начальная влажность семян, %	Пропуска семян через сушилку	Нагрев семян, °С	Предельные температуры сушильного агента		
			Одноступенчатом шахтном с.у., °С	Двухступенчатом шахтном с.у., °С	Барабан, °С
До 15	1	55	120	120	250
До 20	2	55	115	115	350
Более 20	2	55	110	110	350

Технологическая ценность семян подсолнечника определяется его масличностью, сохранить количество и качество масла. В процессе сушки может происходить либо снижение, либо увеличение жировых компонент. Направленность

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

этих превращений зависит от влажности семян и от продолжительности их нагрева. При оптимальных режимах сушки содержание масла в семенах увеличивается. В масле переходят сопутствующие ему вещества, содержащиеся в семенах каротиноиды, стиролы и воскообразные вещества. В табл. 2. приведены физико-химические свойства семян подсолнечника.

Таблица 2

№	Свойство	Ед.изм.	Значение
1.	Абсолютная масса семян	г	40...98,1
2.	Относительная плотность семян	г/см ³	0,651...0,827
3.	Масса 1 м ³ семян	кг	330...470
4.	Объем 1 т семян	м ³	2,1...3,1
5.	Истинный объем 1 т семян	м ³	1,2...1,5
6.	Лузжистость	%	40...52
7.	Скорость витания	м/с	3,2...8,9
8.	Угол естественного откоса	град	31...45
9.	Теплоемкость	Кдж/кг.к	1,51
10.	Температуропроводимость	м ² /ч	6,15...6,85·10 ⁻⁴

При сушке семян подсолнечника важное значения имеет равновесие влажности семян, для определения до какого конечного влагосодержания семян необходимо высушить. В табл.3. даны равновесные влажности семян подсолнечника [2].

Таблица 3

Равновесная влажность подсолнечника

φ	40	50	60	70	80	90
Wг	5,3	6,3	7,4	8,5	10,0	12,9

В настоящее время семена подсолнечника сушат в шахтных зерносушилках, в рециркуляционных зерносушилках и сушилках барабанного типа. Основными недостатками этих сушилок является неравномерность сушки, процесс сушки занимает много времени и происходит неравномерный нагрев семян подсолнечника. Все это приводит к нарушению биохимического состава ядер семян [5]. Для исключения вышеуказанных явлений нами были исследованы технологические, физико-химические, теплофизические, термографические, сорбционно-структурные свойства семян подсолнечника, формы и виды связи влаги в ней [3].

Для теоретического обоснования метода интенсификация процесса сушки был выявлен механизм связи влаги семян подсолнечника, который определяет тепломассоперенос в процессе сушки.

Полученные дериватограммы нагревания семян подсолнечника позволили обосновать допустимую температуру нагрева материала. На основе полученных экспериментальных изотерм сорбции-десорбции семян подсолнечника произведена классификация материала по коллоидным физическим свойствам, а также рассчитаны дифференциальные и интегральные функции распределения пор по радиусам. На основе сорбционных данных рассчитаны номограмма для определения энергии связи влаги семян подсолнечника, удельный объем микропор, удельная

поверхность и чистая теплота десорбции монослоя. По величине максимального гигроскопического влагосодержания семян подсолнечника оценен предельный сорбционный объем «по воде».

На основании анализа свойств семян подсолнечника как объекта теплотехнологической обработки по значению гигроскопического влагосодержания по классификационной таблице выбран сушильный аппарат аэрофонтанного типа [4].

Описание экспериментальной сушильной камеры с фонтанирующим слоем. Прежде всего, перед началом конструирования экспериментальной установки, были изучены условия существования фонтанирующего слоя:

1. Размер твердых частиц должен быть не менее 1-2 мм (данное условие в нашем случае соблюдается, так как $d_{\text{экв}}$ семечек подсолнуха примерно 7 мм.

2. Угол раскрытия конуса сушильной камеры должен быть больше 30° и меньше угла естественного откоса. Это условие тоже соблюдается, потому что угол естественного откоса для семечек подсолнуха $30-45^\circ$.

3. Отношение диаметров верхнего и нижнего оснований слоя $D_B/d_0=8$, это условие тоже соблюдено.

4. Начальная высота слоя способного фонтанировать: $H_0 > 2d_0$.

Получилось следующее: $H_0=30\text{см}$, $d_0=3,2$, отсюда следует $30 > 6,4$. После того, как все условия "фонтанирования" были соблюдены, выбрано вспомогательное оборудование. Прежде всего, было решено какими приборами измерять физические параметры процесса сушки семян подсолнуха в фонтанирующем слое. Самый важный прибор в установке - стандартная диафрагма, с помощью которой устраняется скорость воздуха, который подают в сушильную камеру.

Стандартная диафрагма была специально рассчитана на диаметр воздуховода (99 мм) и учитывала расход воздуха (который был измерен при помощи лопастного анемометра). Показанием, получаемый от диафрагмы является разность давлений до и после сужающего устройства. Для того чтобы измерить этот перепад давления использован чашечный однотрубный манометр.

Далее полученный перепад рассчитываем по формуле для определения расхода воздуха:

$$Q = \frac{ad^2}{0.798} \sqrt{\frac{h}{\rho}}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

где d - диаметр диафрагмы, см; h - перепад давления, мм; ρ - плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; L - коэффициент расхода сужающего устройства; Q - расход воздуха.

Формула определения скорости воздушного потока через сечение трубопровода:

$$W_{\text{сеч}} = Q/S_{\text{сеч}};$$

где $S_{\text{сеч}}$ - площадь сечения трубопровода.

Для измерения температуры сушильного агента было решено использовать термопару в паре с профильным милливольтметром типа М-64. Термопара установлена непосредственно на входе в сушильную камеру.

Для измерения перепада давления в слое семечек было решено установить штуцера до и непосредственно в сушильной камере, а к ним подсоединить чашечный однотрубный манометр.

Для регулирования скорости воздушного потока была изготовлена заслонка. Выбрано все вспомогательное оборудование и изготовлен лабораторный стенд, изображенный на схематическом рис.1.

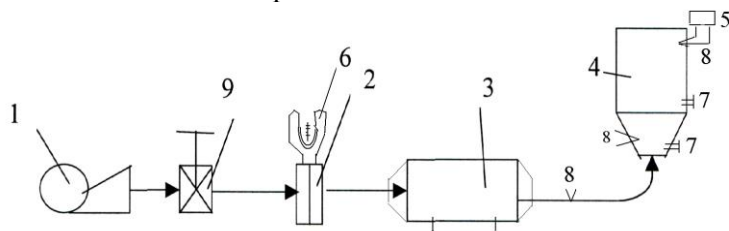


Рис.1. Экспериментальная установка для сушки в аэрофонтанном слое: 1-вентилятор; 2-стандартная диафрагма; 3-калорифер; 4-сушильная камера; 5-милливольтметр; 6 - U-образный манометр; 7-штуцера снятия перепада давления; 8-термопара; 9 - заслонка

Таким образом, разработка новых экспериментальных данных по коэффициентам внутренней диффузии влаги в материале, массоотдачи и влияния процесса сушки на его масличность и биохимию, определение свойств семян подсолнечника как объекта тепло-технологической обработки, а также улучшение их качества (масличность и биохимические измерения), на которое в значительной степени влияет процесс обезвоживания является научной новизной.

Создание сушильного стенда для эффективного метода сушки семян подсолнечника, показывает целесообразность и эффективность применения аппарата фонтанирующего слоя для сушки семян подсолнечника.

Литература

1. Волженцев А.В., Булавинцев Р.А., Головин С.И., Полохин А.М., Козлов А.В., Пупавцев И.Е. Сушка зерна в режиме фонтанирующего слоя // Агротехника и энергообеспечение, – М. 2022. - №3.
2. Котов Б.И, Лисицкий В.О. Анализ влияния режима сушки зерна на энергетические характеристики зерносушилок // Вестник. Харьков. 2001. -№ 8.
3. Солодов А.П. Принципы тепломассообмена. -М.: Издательство МЭИ. 2002.
4. Джураев Х.Ф. Научные основы инфракрасно-конвективной сушки плодов сельскохозяйственных культур. -Т.:Фан 2005.
5. Станкевич Г. Своевременная сушка семян подсолнечника - их качество и сохранность. 2006.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 66.081.6

РАЗРАБОТКА СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ВПУ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПАРОГАЗОВЫХ ТЭС

Л.О. Низамова, С.Р. Ахматова

Ҳозирги вақтда деминерализация қилинган сув сифатининг талаб қилинадиган кўрсаткичларини таъминлашнинг энг истиқболли ва самарали усулларидан бири мембранли ажратиш технологиясига асосланган қурилмалардан фойдаланиш ҳисобланади. Шу билан бирга, турли мақсадлар учун фақат мембрана модулларидан ташиқил топган сув тозалаш иншоотининг схемалари катта қизиқиш уйғотади: ультрафилтрация, тескари осмос, электродеионизация. Мембран технологияларининг афзалликлари реактивларнинг кам истеъмоли, фойдаланиш қулайлиги, ускунанинг ихчамлиги ва оз миқдорда юқори минераллашган оқава сувлар билан боғлиқ. Мембранли технологияларга бўлган майлнинг ўсиши (айниқса, сўнги йилларда) реагентлар, ион алмашинувчилар, манба сувлари нархларининг ошиши, шунингдек тузли оқава сувлар учун стандартларнинг кучайтирилиши билан боғлиқ. Шундай қилиб, ушбу ишнинг мақсади комбинацияланган даврли иссиқлик электр стантсиялари учун замонавий мембрана технологиялари асосида сув тозалаш иншоотларини яратишга илмий-техник ёндашувларни ишлаб чиқиш ва ҳавони намлаш тизимларини совутиш, қуруқ вентиляторли градирнялар учун ихтисослаштирилган сув тозалаш иншоотларини лойиҳалаш бўйича ёндашувларни ишлаб чиқишдан иборат.

Калит сўзлар: *сув тайёрлаш қурилмаси, буғ-газ қурилмаси, қозон ўзлаштиргичи, реагент, коагулянт, мембранли технологиялар, градирня, тескари осмос.*

В настоящее время одним из наиболее перспективных и эффективных способов обеспечения необходимых показателей качества обессоленной воды является применение аппаратов, основанных на технологии мембранного разделения. Одновременно большой интерес представляют схемы водоподготовительной установки, составленные только из мембранных модулей различного назначения: ультрафилтрация, обратный осмос, электродеионизация. Достоинства мембранных технологий связаны с незначительным расходом реагентов, простотой эксплуатации, компактностью оборудования и малым количеством высоко минерализованных сточных вод. Рост привлекательности мембранных технологий (особенно в последние годы) обусловлен повышением цен на реагенты, иониты, исходную воду и связан с ужесточением норм по засоленным стокам. Таким образом, цель данной работы заключается в разработке научно-технических подходов к созданию водоподготовительной установки на основе современных мембранных технологий для парогазовых тепловых электростанций и

разработке подходов к проектированию специализированных водоподготовительных установок для систем увлажнения охлаждающего воздуха сухих вентиляторных градирен.

Ключевые слова: *водоподготовительная установка, парогазовая установка, котел-утилизатор, реагент, коагулянт, мембранная технология, градирня, обратный осмос.*

Currently, one of the most promising and effective ways to ensure the required indicators of the quality of demineralized water is the use of devices based on the technology of membrane separation. At the same time, of great interest are the schemes of a water treatment plant, composed of only membrane modules for various purposes: ultrafiltration, reverse osmosis, electrodeionization. The advantages of membrane technologies are associated with a low consumption of reagents, ease of operation, compactness of equipment, and a small amount of highly mineralized wastewater. The growth in the attractiveness of membrane technologies (especially in recent years) is due to an increase in prices for reagents, ion exchangers, source water and is also associated with the tightening of standards for saline effluents. Thus, the purpose of this work is to develop scientific and technical approaches to the creation of a water treatment plant based on modern membrane technologies for combined-cycle thermal power plants and to develop approaches to designing a specialized water treatment plant for cooling air humidification systems of dry fan cooling towers.

Key words: *water treatment plant, combined cycle plant, waste heat boiler, reagent, coagulant, membrane technology, cooling tower, reverse osmosis.*

Введение. В любой стране энергетика является одной из базовых отраслей экономики. От ее состояния и уровня развития зависят темпы роста других отраслей хозяйства. Энергетика создает предпосылки для применения новых технологий, обеспечивает современный уровень жизни населения. Одновременно работа энергетике оказывает негативное влияние на окружающую среду за счет теплового загрязнения, выбросов продуктов сгорания топлива, шумового воздействия и других.

В последние десятилетия в Узбекистане, как и во всем мире, при проектировании новых электростанций предпочтение отдается энергоблокам, основанным на парогазовой технологии, которая является одним из наиболее перспективных направлений развития энергетике. Применение парогазовых технологий позволяет повысить экономическую эффективность и экологические показатели энергосистемы, снизить сроки строительства энергоблоков. При этом парогазовая установка (ПГУ) с котлом-утилизатором (КУ) – единственные в мире энергетические установки, коэффициент полезного действия (КПД) которых, при выработке электроэнергии в конденсационном режиме, достигает 55-60% [1, 2]. Эксплуатационные издержки современной ПГУ вдвое ниже по сравнению с издержками на пылеугольной тепловой электростанции (ТЭС), а удельные капитальные затраты ниже в 2-2,5 раза. Сроки строительства ПГУ с КУ намного (в 2-

4 раза) короче, чем сроки строительства мощных тепловых электростанций (ТЭС) других типов [1].

Для нашей страны дополнительным стимулом при строительстве ПГУ является то, что основой узбекского топливно-энергетического комплекса является природный газ. Новым фактором, говорящим в пользу выбора ПГУ, как основной технологии получения электроэнергии, является активно развиваемая в последние годы технология добычи сланцевого газа. Однако рентабельность и экологичность технологии добычи сланцевого газа остаются в настоящее время открытым вопросом [1-3]. Другим перспективным источником природного газа могут стать газовые гидраты, залежи которых находятся в мировом океане. Пробная разработка газогидратного месторождения начата в Японии в 2012 году. Предполагаемые запасы газа в газогидратах превосходят суммарные запасы природного газа обычного заложения и сланцевого газа в 200 раз [4].

Парогазовые установки могут также работать при использовании в газотурбинных установках (ГТУ) тяжелого нефтяного топлива, сырой нефти, побочных продуктов переработки нефти. По оценке российских ученых одной из перспективных тенденций в развитии энергетических технологий является разработка ПГУ с технологией газификации угля [5]. Таким образом, не смотря на споры вокруг способа получения газового топлива, многие исследования говорят о высокой перспективности разработки парогазовых технологий [1, 2, 5]. При подготовке добавочной воды для пароводяного цикла ТЭС используют различные методы: химический, мембранный, термический или их комбинации. Ниже описаны наиболее часто применяемые технологии очистки воды, рассмотрены их достоинства и недостатки.

Методы. Обратный осмос является одним из наиболее часто применяемых способов мембранного разделения [6]. Данная технология основана на обратимости процесса естественного (прямого) осмоса – самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор. Чтобы провести обработку воды по технологии обратного осмоса нужно создать избыточное давление (превышающее осмотическое), чтобы заставить молекулы воды диффундировать через полупроницаемую мембрану в направлении, противоположном естественному (прямому) осмосу [2, 7]. Процесс обессоливания с использованием технологии обратного осмоса хорошо отработан с точки зрения его организации, аппаратного оформления и автоматизации.

К главным преимуществам данного метода можно отнести: компактность установок; экологичность процесса (в связи с возможностью сброса концентрата установка обратноосмотического обессоливания (УОО) с содержанием до предельно допустимой концентрации (ПДК) и отсутствием постоянных высоко минерализованных стоков); отсутствие необходимости использования высококонцентрированных кислот и щелочей; высокая степень обессоливания (получаемый пермеат содержит 1-2% исходных солей).

Основные недостатки данного метода: необходимость дообессоливания пермеата; высокое энергопотребление; высокие требования к качеству воды,

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

подаваемой на установку обратного осмоса, которые трудно обеспечить на «традиционной» предочистке с использованием осветлителей [2, 8].

Последний показатель из табл.1 – ТОС (международная аббревиатура – Тотал Органик Сарбон) – является относительно новым для Узбекистана. До недавнего времени вопрос измерения содержания органики в добавочной воде из-за отсутствия нормирования этого показателя не возникал, однако зарубежный опыт показывает, что снижение и поддержание концентрации органических соединений на низком уровне повышает надежность работы энергетического оборудования.

Таблица. 1

Значения норм качества добавочной воды для подпитки котлов

Показатель	Барабанные котлы с естественной циркуляцией давлением 14 МПа	Прямоточные котлы	Котлы-утилизаторы
Общая жесткость, $\frac{\text{мкг}-\text{ЭКЕ}}{\text{дм}^3}$	1,1	0,21	Отсутствие
Содержание кремниевой кислоты, $\frac{\text{мкг}}{\text{дм}^3}$	105	22	21
Содержание соединений натрия, $\frac{\text{мкг}}{\text{дм}^3}$	78	16	9
Удельная электрическая проводимость, $\frac{\text{мкСм}}{\text{см}}$	2,1	0,55	0,21
Общий органический углерод (ТОС), $\frac{\text{мкг}}{\text{дм}^3}$	Не нормируется	Не нормируется	290

Для получения обессоленной воды необходимого качества (табл. 1) на водоподготовительной установке, основанной на «традиционной» технологии, для большинства водных источников, в соответствии с узбекской нормативно-технической документацией, необходимо применить схему водоподготовки, изображенную на рис.1. Рекомендации по применению данной схемы подробно описаны в ВНТП 81 [9].

Основная часть водоподготовительных установок на ТЭС, действующих в Узбекистане, построены в XX веке по «традиционной» или «классической» схеме, включающей осветлитель с известкованием и коагуляцией, либо только с коагуляцией, механическими фильтрами с соответствующей загрузкой, одну или две ступени обессоливания. Такая схема считается «традиционной» для подготовки воды для восполнения потерь пара и конденсата на энергоблоках с барабанными котлами. На блоках с прямоточными котлами в «хвост» водоподготовительной установки (ВПУ) ставят еще и фильтры смешанного действия. Одной из причин распространенности данной схемы является возможность ее применения для очистки воды различного качественного состава (по солесодержанию и взвешенным веществам).

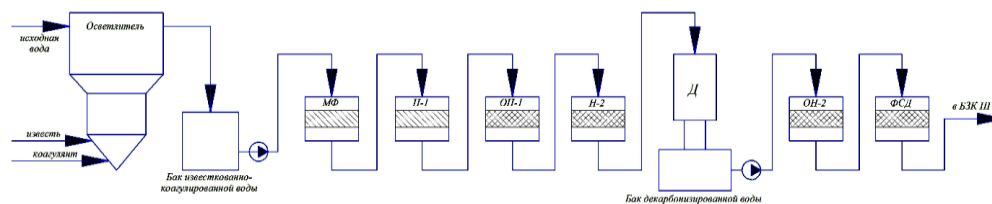


Рис.1. «Традиционная» схема подготовки глубоко обессоленной воды: МФ – механический фильтр, Н-1 и Н-2 – Н-катионитный фильтр первой ступени, ОН-1 и ОН-2 – ОН-анионитный фильтр первой ступени, Д – декарбонизатор, ФСД – фильтр смешанного действия, БЗК – бак запасного конденсата

Несмотря на возможность оптимизации работы данной схемы с целью сокращения расхода реагентов [9, 10], на сегодняшний день она является морально устаревшей, и не отвечает современным требованиям экологичности и безопасности. К тому же она разрабатывалась для подпитки барабанных и прямоточных котлов с большим объемом потребления добавочной воды, и это обстоятельство также не говорит в пользу применения данной схемы для получения глубоко обессоленной воды для подпитки котлов-утилизаторов ПГУ.

Одним из первых технологических решений по внедрению мембранных технологий в «традиционную» схему обессоливания можно назвать замену Н-ОН-ионитных фильтров первой ступени на установку обратного осмоса (рис. 2). Внедрение технологии обратного осмоса позволило в десятки раз сократить объемы используемых на ТЭС для регенерации фильтров серной кислоты и едкого натра, т.к. основная нагрузка по обессоливанию приходится на первую ступень фильтров [11-16].

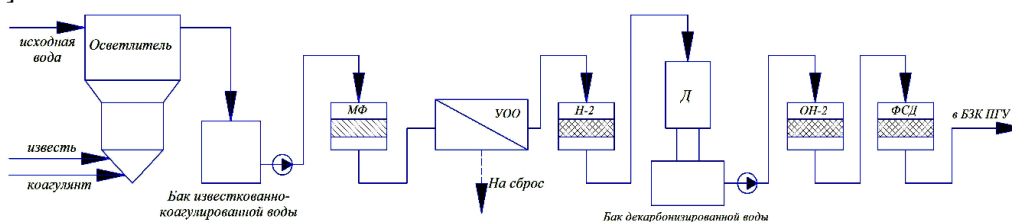


Рис.2. Первой этап внедрения мембранных технологий в «традиционную» схему ВПУ: установка обратноосмотического обессоливания (УОО)

Однако использование предочистки в виде осветлителя с известкованием и коагуляцией не дает возможности использования всех преимуществ обратного осмоса в полную силу из-за некоторых недостатков. Опыт эксплуатации УОО с «классической» предочисткой на Ташкентский ТЭС [17] показал, что при высоком $pH = 9,8$ осветленной воды, подаваемой на установку обратного осмоса, растет удельная электропроводность пермеата (по сравнению с работой при $pH = 8,1$ электропроводность выше в 2 раза, а при $pH > 9,8$ она может возрасти в 5 раз).

Второй недостаток: при использовании «классической» схемы предочистки (и условия отлаженности ее работы) значение коллоидного индекса в лучшем случае удается поддерживать в пределах СДИ=4-5. В табл.2 приведены значения допустимого удельного съема для обратноосмотических мембран в зависимости от значения коллоидного индекса СДИ (по данным производителей мембран) [9, 10].

Таблица 2

Допустимый удельный съем $\left(\frac{\text{лнтр}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}\right)$ для обратноосмотических мембран в зависимости от значения коллоидного индекса СДИ исходной воды

Компания-изготовитель	СДИ<1	СДИ<3	СДИ<5
Дов Чемисал (Филмтес)	36	27	20
Хйдранаугисс	37	24	17

Как следует из табл. 2 уменьшение коллоидного индекса позволяет увеличить удельный съем пермеата в 1,5-2 раза. Это, в свою очередь, позволяет сделать УОО более компактными.

Таким образом, комплексно исследовав опыт применения мембранных технологий в энергетике, учитывая достоинства и недостатки различных технологий подготовки воды, и их взаимосвязь, авторы приходят к выводу, что создание ВПУ, состоящей только из установок, основанных на технологии мембранного разделения – ультрафильтрации, обратного осмоса, электродеионизации (т.е. применение концепции интегрированных мембранных технологий) – наиболее целесообразно в случае применения мембранных технологий для ВПУ вновь строящихся ПГУ ТЭС.

Результаты. После определения методов водоподготовки при дальнейшем проектировании схемы ВПУ, основанной на интегрированных мембранных технологиях, сразу встает вопрос о принципе соединения различных базовых установок (модулей или блоков) между собой и с другими элементами схемы. Для решения данной задачи автором предлагается применять для интегрированной мембранной технологии (ИМТ) принцип коллекторно-цепочечной схемы (рис. 3). Исходная вода проходит очистку на установке дисковой фильтрации, где задерживаются взвешенные вещества размером крупнее 200 мкм. За дисковыми фильтрами в воду при необходимости добавляется коагулянт, после чего она в течение относительно непродолжительного времени выдерживается в баках коагулированной воды, и далее подается на установку ультрафильтрации. Очищенная вода после установки ультрафильтрации (УУФ) собирается в баках осветленной воды, из которых подкачивающими насосами подается на установку обратного осмоса первой ступени. Для борьбы с образованием минеральных отложений на мембранах перед УОО1 предусматривается дозирование раствора антискаланта, а для предотвращения попадания на мембранные элементы свободного хлора – дозирование раствора бисульфита натрия.

Пермеат, полученный на УОО1, проходит декарбонизацию и собирается в баки пермеата. Концентрат УОО1 с солесодержанием 800 – 900 $\frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}$ сбрасывается в

канализацию. Базовые модули установок ультраfiltrации и обратного осмоса первой ступени объединяются по коллекторному принципу, или так называемой «гребенке». При работе «гребенки» вода через входной коллектор распределяется по модулям одной группы (УУФ и УОО1), а затем на выходном коллекторе собирается в один поток. Данный подход связан с тем, что УУФ и УОО1 работают в наиболее стрессовых условиях и для них важна возможность быстрого переключения между модулями (для ремонта или диагностики неисправностей).

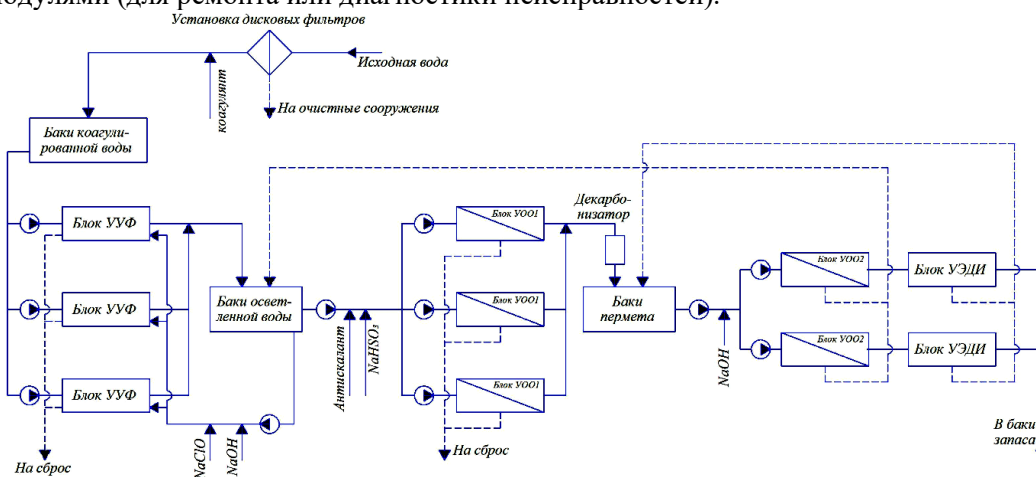


Рис. 3. Принципиальная схема ВПУ для получения обессоленной воды, основанная на ИМТ

Из баков пермеата вода подается на установку обратного осмоса второй ступени и последовательно на установку электродеионизации, где происходит глубокое обессоливание воды. Для проведения химической декарбонизации на мембранном блоке УОО2 предусматривается дозирование щелочи в поток воды, поступающей на УОО2. Концентрат УОО2 возвращается в баки осветленной воды, а концентрат УЭДИ – в баки пермеата. Полученная на УЭДИ глубоко обессоленная вода подается далее в баки запаса.

Установка обратного осмоса второй ступени и установка электродеионизации соединены «цепочкой». При подготовке воды по схеме «цепочка» коллекторы («гребенки») тоже имеются, но их всего два – на входе и на выходе воды из узла водоподготовительной установки. Применение для последних ступеней очистки соединения по принципу «цепочки» позволяет сэкономить на установке вспомогательного оборудования (промежуточных баков, насосов, дополнительной арматуры) и сократить длину межмодульных трубопроводов. Это особенно важно поскольку, аппараты, основанные на мембранной технологии (обратный осмос, электродеионизация, электродиализ, мембранная дегазация), очень чувствительны к контаминации (микробиологическому загрязнению) мембран. Применение «цепочки» на финальной стадии обессоливания позволяет минимизировать количество баков в схеме ВПУ, и отказаться от установки промежуточных емкостей,

которые могут служить источником микробиологического загрязнения в результате «застаивания» воды.

Одновременно важно отметить, что при таком способе соединения резервируется вся «цепочка». Применение цепочки для УОО2 и УЭДИ обосновано тем, что исходной водой для нее является пермеат установки обратного осмоса первой ступени, что, как было сказано выше, существенно повышает надежность схемы и позволяет уменьшить количество резервируемого оборудования.

Для каждой ступени обработки (УУФ, УОО, УЭДИ) необходима установка собственной станции химической мойки, поскольку применение единой системы химмойки приведет к загрязнению мембран последующих ступеней продуктами отмывки предыдущих.

Отдельного внимания требует проблема сохранения высокого качества глубоко обессоленной воды в баках запаса (на рис. 3 не показаны). Из-за малого расхода воды на подпитку котел-утилизатор (КУ) происходит «застаивание» воды в баках, насыщение воды углекислотой, возникает опасность микробиологических загрязнений. Для решения данной задачи необходимо применять гидрозатворы на переливах баков запаса обессоленной воды и обеспечивать защиту дыхательных клапанов, к примеру, устанавливая специальные фильтры с натронной известью (применение защитных пленок на поверхности зеркала воды нежелательно, поскольку данные пленки могут вызвать микробиологическое загрязнение обессоленной воды).

Описанный принцип проектирования установок водоподготовки по коллекторно-цепочечной схеме уже применяется на практике, и был успешно использован для создания ВПУ Ташкентской ТЭС [17,18]. Экономическое обоснование вышеописанного подхода к проектированию водоподготовительных установок на базе интегрированных мембранных установок проиллюстрировано на рис. 4, на котором представлен характер зависимости удельных капитальных затрат на строительстве ВПУ от требуемой производительности.

Проведенное расчетное исследование показало, что с ростом производительности водоподготовительной установки удельные капитальные затраты снижаются. Это отчасти связано с тем, что стоимость вспомогательного оборудования (емкости, установки дозирования, трубы, арматура) не сильно зависят от производительности по обессоленной воде. При обеспечении требований надежности и технологической устойчивости схемы водоподготовки важным является вопрос резервирования основного оборудования ВПУ. Для классической схемы, основанной на ионообменной технологии, к каждой ступени фильтров применяется принцип резервирования:

$$N_{\text{проектное}} = N_{\text{рабочее}} + 2;$$
 где $N_{\text{проектное}}$ – число устанавливаемых фильтров, $N_{\text{рабочее}}$ – число фильтров в работе, 2 – резерв (один фильтр в регенерации и один в резерве (ремонте)). Одновременно рекомендуется выбирать оборудование максимальной единичной производительности. Применение данного метода резервирования к мембранным установкам без какого-либо пересмотра нельзя

назвать корректным, поскольку это может приводить к значительному усложнению и удорожанию установки.

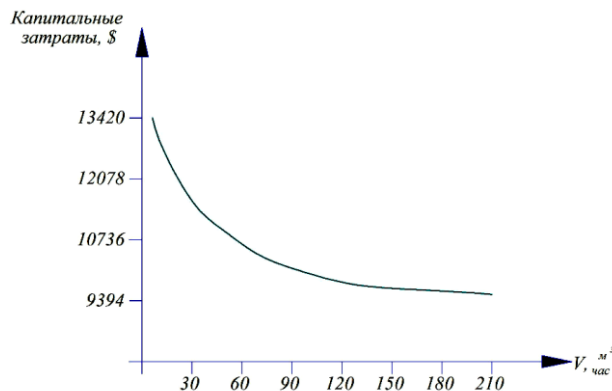


Рис. 4. Зависимость удельных капитальных затрат при строительстве ВПУ, основанной на ИМТ, от требуемой производительности

Для обеспечения необходимого уровня стабильности работы ВПУ на базе ИМТ с учетом взаимосвязи резерва оборудования авторами предлагается следующий подход к выбору количества резервируемого оборудования. На первом этапе необходимо определить основные показатели производительности ВПУ:

1. Минимальная среднесуточная производительность (для обеспечения устойчивой работы ВПУ на минимальных нагрузках).
2. Номинальная производительность.
3. Пиковая (максимальная) производительность.

При обосновании выбора интегрированных мембранных технологий для ВПУ подпитки КУ с точки зрения экономической эффективности следует обратить внимание на то, что в литературе встречается достаточно много работ по сравнению экономической эффективности схем подготовки обессоленной воды [1,2,5]. При этом, как правило, наиболее эффективной признается та, которая рассмотрена в конкретной работе. На рис.5 приведен пример графика зависимости эксплуатационных расходов на ВПУ обессоливания от солесодержания исходной воды [17].

Как видно из графика, точка равновесия находится как раз в области, где по солесодержанию находится большинство водных источников, поэтому оценить экономическую эффективность ионного обмена и обратного осмоса без учета дополнительных факторов достаточно затруднительно [16]. Кроме того, приведенная зависимость описывает поведение данного графика в области высоких значений производительности ВПУ.

Проведенное авторами расчетное исследование на основании методики, изложенной в [19], показывает, что для водоподготовительных установок парогазовых ТЭС, где подпитка обессоленной водой редко превышает $30 \text{ м}^3/\text{час}$,

график зависимости эксплуатационных расходов на ВПУ обессоливания от солесодержания исходной воды будет иметь вид, представленный на рис. 6.

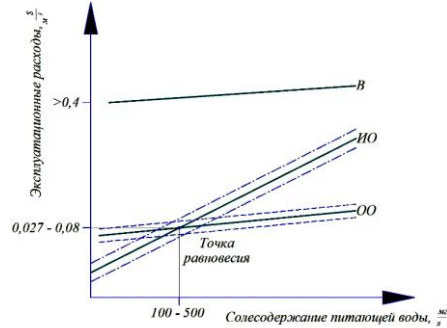


Рис.5. Сравнение зависимости стоимости очистки воды методами ионообменного обессоливания (ИО), обратного осмоса (ОО), и выпаривания (В) от ее солесодержания (производительность одинакова)

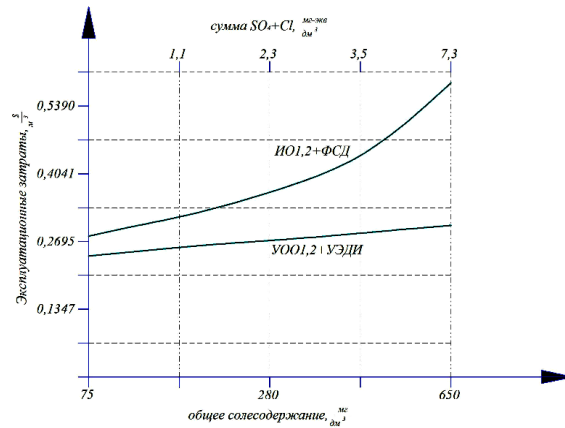


Рис. 6. График зависимости эксплуатационных расходов на обессоливание в зависимости от солесодержания для схемы 3-х ступенчатого обессоливания (ИО1,2+ФСД) и схемы полностью мембранного обессоливания (УОО1,2+УЭДИ) при принятой производительности ВПУ по глубоко обессоленной воде 30 м³/час

Характер зависимостей связан с тем, что для технологии ионообменного обессоливания (ИО) количество реагентов для регенерации (которые вносят существенный вклад в эксплуатационные расходы) сильно зависит от солесодержания исходной воды. Для мембранной технологии такой сильной зависимости не наблюдается. При повышении солесодержания увеличивается осмотическое давление, поэтому необходимо поднять рабочее давление насоса, что приводит к большему расходу электроэнергии. Также происходит увеличение дозы антискаланта и частоты промывок мембран. Однако, по сравнению с необходимым

увеличением расходов реагентов в ионообменной технологии для мембранных установок увеличение эксплуатационных затрат гораздо меньше.

Заключение. Таким образом, для ВПУ малой производительности применение мембранных технологий эффективно с точки зрения эксплуатационных затрат во всем диапазоне качества исходной воды. Однако необходимо отметить, что в зависимости от конкретного района строительства ВПУ, местных цен на электроэнергию, иониты, мембраны, реагенты и их доставку ионообменные технологии все же могут оказаться предпочтительнее мембранных при низком солесодержании исходной воды (менее $100 \frac{\text{мг}}{\text{д}}$). Кроме того, при малых расходах ионообменные технологии могут быть выгодны в схемах водоподготовки, работающих на воде, уже прошедшей очистку (например – водопроводной), поскольку такая вода имеет более высокую стоимость, в связи с чем необходимо свести собственные нужды водоподготовительной установки к минимуму.

Литература

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремизов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М.:Издательство МЭИ, 2020. – 584 с.
2. Гавриленко С.С. Исследование и разработка подходов к проектированию водоподготовительных установок для парогазовых ТЭС. Диссертация к.т.н. Москва, 2014. – 107 с.
3. Ольховский Г.Г. Тепловая энергетика в начале XXI века. //Электрические станции, 2011, -№6. – С.3-12.
4. Smith D.J. Advanced Gas Turbines Yield High Efficiency // Low Emissions Power Engineering International Conf. June 1994. P. 27 – 31.
5. Абрамов А.И., Елизаров Д.П., Ремезов А.Н. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 378 с.
6. Виноградов В.Н., Смирнов Б.А. Повышение эффективности осветлителей для коагуляционной обработки воды // Теплоэнергетика, 2010, № 8. – С. 14–16.
7. Богловский А.В., Копылов А.С., Очков В.Ф. Предварительная очистка воды в схемах водоподготовки. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 272 с.
8. Пантелеев А.А. и др. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке. – М.: ДеЛи плюс, 2012. – 429 с.
9. Самодуров А.Н., Лысенко С.Е., Громов С.Л. Использование метода обратного осмоса для водоподготовки в теплоэнергетике // Теплоэнергетика, 2006, № 6. – С. 26-30.
10. Громов С.Л. Критические параметры обратного осмоса и противоточного ионного обмена // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – №5. – С. 13-25.
11. Therkildsen S.E. Water Chemistry Control and Monitoring Concept to Avoid Chemistry Related Failures in Small Combined Heat and Power Plants. Proc. Seventh Int. EPRI Conference on Cycle Chemistry in Fossil Plants, June 3-5, 2003, Houston, TX, USA p. 2.3-2.17.

12. Svoboda R., Gabrielly F., Liebig E., Hens H., Sandmann H. Combined Cycle Power Plant Chemistry – Concepts and Field Experience. Proc. Sixth Int. EPRI Conf. on Cycle Chemistry in Fossil Plants. June 27-29, 2000 Columbus, Ohio, USA. P. 34.1-34.20.

13. Newell P.A., Wrigley S.P. An Economic Comparison of Reverse Osmosis and Ion Exchange in Europe, Ion Exchange Developments and Applications // proceeding of IEX'96, Royal Society of Chemistry. P. 59-66.

14. Beardsley S., Coker S., Whipple S. The Economics of Reverse Osmosis and Ion Exchange // Paper presented at WATERTECH'94, Nov 9-11, 1994.

15. Scott S. Beardsley, Steven D. Coker, Sharon S. Whipple. Dow Chemical Co. "Deminerlization. The economics of reverse osmosis and ion exchange". – Ultpure water, 1995, march.

16. Очков В.Ф., Гавриленко С.С. Применение интегрированных мембранных технологий очистки воды в энергетике на примере Адлерской ТЭС // Водоснабжение и канализация, 2012. № 7-8. - С. 78-83.

17. Юсупалиев Р.М., Усмонов Н.О. Опытной электрокоагуляционной установки предварительной очистки природной воды для получения пара на ТЭС // Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит, Украина, 2016. №10(152), – С. 8-12.

18. Isakhodjayev X.S., Usmonov N.O. Experimental electro coagulation unit for pretreatment of mains water for dream generation at TPP // E3S Web Conf. Volume 216, 2020. Rudenko International Conference "Methodological problems in reliability study of large energy systems". DOI: 10.1051/e3sconf/202021601126.

19. СТО 70238424.27.100.013-2009. Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия создания. Нормы и требования.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 620.9

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЁМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА – ВАЖНЕЙШИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Т.Х. Насиров, Ш.В. Хамидов

Марказий Осиёнинг ягона энергетика тизимига қирувчи Ўзбекистон электроэнергетикасида электр станцияларининг маневр қуввати ва базавий қувватнинг етишмаслиги долзарб муаммо ҳисобланади. Электр энергияси ишлаб чиқариш тузилмасидан келиб чиқиб, 2030-йилга бориб Ўзбекистон қайта тикланувчи энергия манбаларининг қувватини 25 ГВтга ва умумий электр энергияси истеъмولىдаги улушини 40 фоизга ошириш орқали ўсиб бораётган электр энергияси тақчиллигини қоплашни мақсад қилган. Ишлаб чиқаришнинг умумий тақчиллигини камайтириш йўлларида бири ишлаб чиқаришнинг энергия самарадорлигини ошириш орқали электр энергияси истеъмولىни камайтиришидир. Мақола замонавий энергия тежовчи технологиялар асосида Ўзбекистон Республикасида энергия самарадорлигини ошириш масалаларига бағишланган. Иқтисодийнинг энергия сизимининг ҳозирги даражаси ва узоқ муддатли истиқболда барқарор иқтисодий ўсишга эришишга тўсиқ бўлаётган энергия ресурсларидан самарасиз фойдаланиш сабаблари таҳлил қилинган. Муҳимлик нуқтаи назаридан, энергия самарадорлиги (ЭС) стратегиясининг нарх белгилашдан кейинги иккинчи компоненти ЭСга қизиққан барча тузилмаларни (ишлаб чиқарувчилар, дизайнерлар, қурувчилар ва инвесторлар) мувофиқлаштириш ва рағбатлантиришни таъминлайдиган институтсионал жиҳат ҳисобланади.

Калит сўзлар: энергия тизими, энергия самарадорлиги, энергия интенсивлиги, ишонччилик, энергия хавфсизлиги.

В электроэнергетике Узбекистана, входящей в состав Объединённой энергосистемы стран Центральной Азии, назрели проблемы дефицита маневренной мощности электростанций и базовой мощности. Исходя из структуры генерации электроэнергии к 2030 году, цель Узбекистана - компенсировать нарастающий дефицит электроэнергии увеличением мощности возобновляемых источников энергии до 25 ГВт, и их доли в общем потреблении электроэнергии — до 40 %. Одним из путей снижения общего дефицита генерации является снижение потребления электроэнергии за счёт повышения энергоэффективности производства. Статья посвящена вопросам повышения энергоэффективности в Республике Узбекистан на основе современных технологий энергосбережения. Анализируется современный уровень энергоёмкости экономики, причины неэффективного использования энергетических ресурсов, являющихся препятствием для достижения устойчивого экономического роста на долгосрочную перспективу. По степени значимости второй компонентой стратегии эффективного

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

использования энергии (ЭИЭ), после ценообразования, считается институциональный аспект, обеспечивающий координацию и мотивацию всех заинтересованных в ЭИЭ структур (производителей, проектировщиков, строителей и инвесторов).

Ключевые слова: энергосистема, энергоэффективность, энергоёмкость, надёжность, энергобезопасность.

In the electric power industry of Uzbekistan, which is part of the United Energy System of Central Asia, there is an urgent problem of shortage of maneuverable power of power plants and base power. Based on the structure of electricity generation, by 2030, Uzbekistan's goal is to compensate for the growing electricity shortage by increasing the capacity of renewable energy sources to 25 GW and the share in total electricity consumption to 40%. One of the ways to reduce the overall generation deficit is to reduce electricity consumption by increasing the energy efficiency of production. The article is devoted to the issues of increasing energy efficiency in the Republic of Uzbekistan based on modern energy saving technologies. The current level of energy intensity of the economy and the reasons for the inefficient use of energy resources, which are an obstacle to achieving sustainable economic growth in the long term, are analyzed. In terms of importance, the second component of an energy efficiency (EE) strategy after pricing is the institutional aspect, which ensures coordination and motivation of all structures interested in EE (manufacturers, designers, builders, and investors).

Key words: energy system, energy efficiency, energy intensity, reliability, energy security.

За последние годы электроэнергетика Узбекистана столкнулась с проблемой дефицита не только маневренной мощности электростанций, но и дефицита базовой мощности. Это привело к закупке с 2023 года природного газа у России с использованием части магистральных газопроводов Газли, Урала и Казахстана. Энергосистема Узбекистана работает параллельно с Объединённой энергосистемой стран Центральной Азии (ОЭС ЦА). Преимущества объединения энергосистем общеизвестны [1].

Исходя из структуры генерации электроэнергии к 2030 году цель Узбекистана - компенсировать нарастающий дефицит электроэнергии увеличением мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) до 25 ГВт, и ее доли в общем потреблении электроэнергии — до 40 % [2].

При этом в стратегии «Узбекистан-2030» поставлены также задачи:

- доведение объема поставки электроэнергии для отраслей экономики и нужд населения до 120 миллиардов кВт часов;
- доведение объема добычи природного газа до 62 миллиардов кубометров;
- увеличение энергоэффективности отраслей экономики в 2 раза;
- создание независимого регулятора по упорядочению рынка энергоресурсов, разделение функций закупки, реализации и поставки электроэнергии;

- модернизация инфраструктуры распределения, генерации и поставки потребителю электроэнергии и природного газа;
- полная цифровизация ведения учета всех видов энергоресурсов;
- достижение устойчивой работы энергетической системы Узбекистана с энергетическими системами соседних государств.

Исходя из структуры генерации электроэнергии к 2030 году цель Узбекистана компенсировать нарастающий дефицит электроэнергии за счёт увеличения доли ВИЭ в 25% от общего объема [2]. Однако, для успешного осуществления поставленной задачи без ущерба надежности, устойчивости и безопасности функционирования энергосистемы Узбекистана неизбежно потребуется преодолеть ряд барьеров, наиболее важными из которых являются:

- единовременный ввод в эксплуатацию пропорциональной доли ВИЭ по мощности традиционных маневренных источников совместно с накопителями и аккумулирующими источниками. Это обстоятельство крайне важно, так как ОЭС Узбекистана вошла в число энергодефицитных энергосистем;
- для обеспечения надёжности и устойчивой параллельной работы энергосистемы Узбекистана с ОЭС стран Центральной Азии и России необходимо усиление межсистемных электрических сетей;
- для увеличения маневренной мощности ОЭС ЦА целесообразно совместное строительство ГЭС в Таджикистане и Киргизии.

Для снижения общего дефицита генерации важнейшую роль будет играть снижение потребления электроэнергии за счёт повышения энергоэффективности производства. Обеспечение энергоэффективности содействует укреплению энергетической безопасности страны, снижению себестоимости промышленной продукции и ее конкурентоспособности на рынке, решению экологических проблем при энергопроизводстве. В настоящее время важной задачей является практическая реализация поставленных целей энергоэффективности на основе малозатратных мер, подкреплённых необходимыми финансовыми и кадровыми ресурсами. Предстоит ещё много сделать для создания институциональной базы для достижения целей энергоэффективности. Имеющиеся резервы энергоэффективности не всегда удастся реализовать в связи с недостатками законодательной базы или слабого их применения. Необходимо создание условий для привлечения инвестиций в проекты повышения энергоэффективности.

Это создаст нерешённые пока проблемы снижения надёжности энергосистемы Узбекистана и устойчивости параллельной работы с Объединённой энергосистемой стран Центральной Азии и России [1].

Вместе с тем имеющийся технический потенциал энергосбережения в Узбекистане составляет не менее 20% годового производства электро- и теплоэнергии.

Энергоемкость представляется как отношение потребления энергоресурсов к стоимости продукции или ВВП, он снижается с развитием энергосберегающих технологий производства. На рис.1 приведены данные по энергоёмкости единицей измерения, которой является **koe/\$15p** – килограмм нефтяного эквивалента на доллар

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

США при постоянном обменном курсе, ценах и паритете покупательной способности 2015 года [3].

В мировом разрезе глобальная энергоёмкость снизилась в 2022 году на 1,2%, в период 2009–2019 годы она составила 1,9% в год. В 2022 году мировое энергопотребление возросло на 2,1%, а рост ВВП на 3%. При этом значения и тенденции энергоёмкости существенно отличаются для различных стран мира в силу разной структуры их экономик. К странам с высоким удельным энергопотреблением (кое/\$15р) относятся Иран – 0,251; Кувейт – 0,228; Венесуэла – 0,206; Россия – 0,204; Украина – 0,193; ЮАР – 0,187; Тайвань – 0,182; Узбекистан – 0,179; Канада – 0,173; Нигерия – 0,161; Китай – 0,145; Казахстан – 0,141 [3].

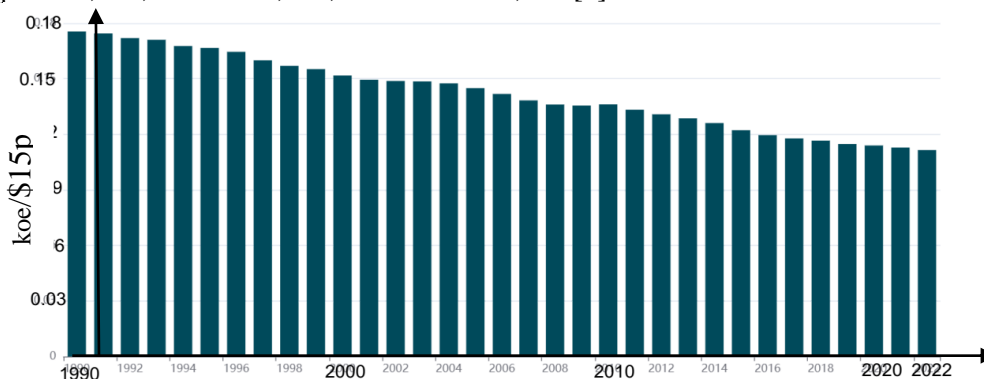


Рис.1. Мировая тенденция изменения энергоёмкости кое/\$15р за 1990–2022 гг

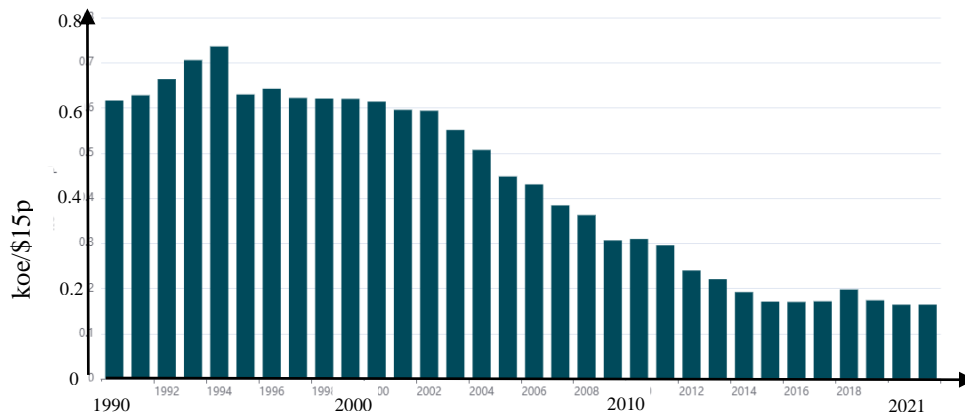


Рис.2. Изменения энергоёмкости Республики Узбекистан в 1990-2021 гг

Высокая энергоёмкость производства (рис.2) и низкая его энергоэффективность в Узбекистане являются серьезным препятствием устойчивого экономического развития страны, и поэтому, проблема повышения энергоэффективности производства входит в разряд первоочередных задач.

Причинами столь высокого современного уровня энергоемкости экономики являются:

– неэффективность существующих экономических стимулов энергосбережения;

– относительно низкий уровень внутренних цен на энергетическое сырье и продукты его переработки и вытекающая из этого - незаинтересованность на всех уровнях управления и у населения в обеспечении рационального использования и экономного расходования топлива и энергии;

– низкая оснащенность энергопотребителей техническими средствами учета и контроля за расходованием энергоресурсов;

– высокая энергозатратность производственных процессов из-за большой доли устаревшего основного производственного оборудования;

– а **главное - отсутствие** на предприятиях производственных служб по энергосбережению и повышению энергоэффективности;

– недостаточная информированность населения по вопросам энергосбережения.

Энергоэффективность производства определяется как отношение потребления энергоресурсов к единице продукции. Неэффективное использование энергетических ресурсов является главным препятствием для достижения устойчивого экономического роста национальной экономики на долгосрочную перспективу. Причины этого положения хорошо известны. Это и недостаточная заинтересованность управления предприятий, и неспособность технического персонала разработать технико-экономическое обоснование мер по повышению эффективности использования энергии.

Что необходимо сделать в этом направлении в первую очередь? Практика развитых стран [4] показывает, что меры по сбережению энергии должны быть составной частью всеобъемлющей государственной программы управления предприятием - отраслью - экономикой, только в этом случае результаты сбережения энергии будут значительными и длительными. Вопросы экономии топлива, тепла и электроэнергии следует рассматривать в связи со сбережением совокупных производственных ресурсов, т.е., как элемент ресурсосбережения. Эффективность и приоритетность энергосберегающих мероприятий необходима определять на основе не только энергетической, но и социальной, экологической и экономической оценок.

По степени значимости второй компонентой стратегии эффективного использования энергии (ЭИЭ), после ценообразования, считается институциональный аспект, обеспечивающий координацию и мотивацию всех заинтересованных в ЭИЭ структур (производителей, проектировщиков, строителей и инвесторов).

Третьей компонентой в ЭИЭ является обучение и распространение информации. Все эти компоненты должны иметь механизмы финансового и экономического стимулирования вместо административно-нормативной системы энергоуправления и штрафных санкций.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Абсолютным приоритетом среди энергосберегающих мероприятий как в ТЭК, так и у потребителей, обладают **малозатратные мероприятия**, осуществляемые за счет улучшения организации функционирования мероприятий, внедрения системы материального стимулирования, неукоснительного соблюдения правил использования энергии.

Кардинальное изменение технологии производства требует, как правило больших капитальных затрат и окупается за 5–7 лет и более, что потребует значительных инвестиций. При ограниченности финансовых ресурсов в техническом соревновании за инвестиции особое место занимают энергетические технологии, так как они оказывают влияние на все другие технологии.

Важнейшим направлением в энергосбережении является внедрение **возобновляемых и альтернативных источников энергии** во всех отраслях экономики с наращиванием их доли в энергобалансе, в соответствии с динамикой истощения ископаемых видов топлива и по мере увеличения мощности накопителей энергии. В первую очередь целесообразно внедрение **автономных ВИЭ и альтернативных источников** средней и малой мощности. Если это не проходит при существующих технологиях ВИЭ и тарифах на энергоносители, то выход следует искать в грантных/беспроцентных инвестициях.

В этом случае одновременно решаются проблемы снижения экологической нагрузки на окружающую среду.

С привлечением зарубежного капитала целесообразно создавать демонстрационные зоны высокой энергоэффективности, что успешно реализовано во многих странах Восточной Европы и России.

По опыту передовых стран [4] целесообразно создание специальных структур, ответственных в масштабе страны за проведение государственной политики в области энергосбережения.

Система энергоуправления. Решение любых задач энергосбережения и повышения энергоэффективности производства требует создания и функционирования четкой системы энергоуправления (энергетического менеджмента). Система энергоуправления предприятия обязательно должна иметь прямую связь между текущим контролем и управлением. В свою очередь постановка и решение задач в системах энергоуправления невозможны без детального энергетического аудита (обследования) текущего состояния энергопользования на предприятиях.

В Узбекистане также, как и в странах СНГ, такая система не создана, что является главной причиной низкой результативности государственных мер по энергосбережению. Для преодоления этих барьеров целесообразно пересмотреть институциональную структуру по энергосбережению. В свою очередь постановка и решение задач в системах энергоуправления невозможны без детального энергетического аудита (обследования) текущего состояния энергопользования на предприятиях.

В Узбекистане до настоящего времени еще не проводятся в полном объеме энергетические обследования (энергоаудиты), предусмотренные Законом РУз «О рациональном использовании энергии». Это связано с:

- незавершенностью разработки отдельных, предусмотренных Законом, нормативно-правовых документов;
- нехваткой подготовленных специалистов как по аудиту, так и на производстве.

Управление энергией или энергетический менеджмент основан на контроле с помощью приборов. Внедрение приборов коммерческого учета энергоносителей для оплаты лишь первый и необходимый этап. Значительно больший объем разнообразных стационарных и переносных приборов необходим для налаживания текущего контроля за энергопотреблением и анализа возможностей повышения энергоэффективности. Не только крупные компании, но и небольшие предприятия в развитых странах используют сегодня программы непрерывного контроля энергопотребления с компьютерной обработкой данных (Monitoring@Targeting) и постановки задач по энергосбережению. Затраты, необходимые для проведения энергоаудитов и организации работ по энергосбережению несоизмеримы с тем эффектом, который может быть получен в результате реализации рекомендаций и предложений. Экономический эффект от инвестиций в эту область даже в лучших компаниях мира, имеющих высокий уровень энерготехнологий, на порядок превышает объем инвестиций.

Таким образом, решение обеих задач (проведение аудитов и мониторинг энергопотребления) требует закупок или собственного производства приборов технического учета и контроля расхода энергоносителей, а также подготовки специалистов для аудиторских и производственных служб по энергоуправлению (энергетическому менеджменту). С учётом мирового опыта необходимо создать службы по энергосбережению на всех крупных предприятиях с координацией их работы с региональными центрами энергоуправления по электро-, тепло- и газоснабжению.

В заключение приведём некоторые предложения специалистов Узбекистана по энергосбережению и энергоэффективности.

- Обязательное внедрение службы энергоменеджмента на крупных предприятиях с расходом энергоресурсов в объёме, определённом Законом “О рациональном использовании энергии”. При этом, энергоменеджеры должны иметь сертификаты об окончании курса в аккредитованных центрах обучения по направлению – управление энергопотреблением, энергоаудит, энергосбережение и повышения энергоэффективности (по отраслям).

- Разработать правила и механизмы заключения договоров на поставку энергоресурсов, правила, стимулирующие их экономию.

- Разработка и внедрение механизмов добровольного договора между энергоёмкими предприятиями и регуляторами по энергосбережению, в котором устанавливаются взаимные обязательства. Подобная практика получила широкое распространение в странах ЕС. Добровольные договоры, предусматривающие меры

стимулирования и поощрения энергосбережения в виде льгот и налоговых вычетов, обычно нацелены на энергоёмкие предприятия, где обязательная система энергоменеджмента и энергоаудит приносят большой результат.

Литература

1. Насиров Т.Х., Трофимов Г.Г., Шамсиев Х.А., Воротницкий В.Э. Проблемы и пути обеспечения параллельной работы энергосистем России и Центральной Азии. // Электрические станции. 2022, - №10. –С.2-9.
2. Указ Президента Республики Узбекистан от 11.09.2023 № УП-158. Стратегия «Узбекистан–2030».
3. [URL: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html> (дата обращения: 12.09.2021).
4. UNECE. Политика повышения энергоэффективности: Передовой опыт. Европейская экономическая комиссия ООН. Серия публикаций ЕЭК ООН по энергетике. Нью-Йорк и Женева, 2015 год.

*Представлено Институтом
проблем энергетики АН РУз*

УДК 621.365.31

**ИЗ ОПЫТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ (ЭНЕРГОАУДИТА)
СП ООО «AGROMIR»****Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадиров**

Мақолада «Агромир» МЧЖ ҚКнинг турли ишлаб чиқариш бўлинмаларида қўлланиладиган энергия ресурсларини истеъмол қилиш кўрсаткичларини баҳолаш масалалари кўриб чиқилган. Ёқилги-энергетика ресурсларини истеъмол қилиш структурасининг характеристикалари берилган ва энергия баланслари энергия ресурсининг турлари бўйича таҳлил қилинган. Корхонанинг цехлари учун энергия ресурсларини истеъмол қилишга таъсир қилувчи омиллар кўриб чиқилган ва таъсир этувчи омилга нисбатан маълум турдаги ресурслар учун солиштирма энергия сарфига баҳо берилган. Бундан ташқари, бир хил технологик кўрсаткичлар ва мавсумий хусусиятларга эга бўлган аниқ кўрсаткичларнинг ўзгариш динамикасини таққослаш йўли билан энергия истеъмоли натижасида тўғридан-тўғри энергия йўқотишлари ва энергия ресурсларидан фойдаланиш самарадорлиги баҳоланган. Маҳсулот турлари бўйича энергия истеъмоли стандартлари ҳолати кўриб чиқилган. Куч трансформаторлари, статик конденсаторлар, табиий газ ва иссиқлик энергиясидан буг кўринишида самарали фойдаланиш ҳисобига энергия тежаши имкониятлари аниқланган.

Калит сўзлар: *энергия тизими, электр энергияси, корхоналарнинг энергия аудити, ёқилги-энергетика ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш, ускунанинг хизмат муддатини ошириш, ташкилий ва арзон энергия тежаши чора-тадбирлари.*

В статье рассмотрены вопросы оценки показателей расхода энергоресурсов используемых в различных производственных подразделениях СП ООО «Агромир». Даны характеристики структуры потребления топливно-энергетических ресурсов и проанализированы энергобалансы по видам энергоресурсов. Для цехов предприятия рассмотрены факторы, влияющие на потребление энергоресурсов и дана оценка удельного электропотребления по отдельным видам ресурсов, по отношению к влияющему фактору. Кроме того, оценены прямые потери энергии за счёт утечки энергоносителей, а также эффективность использования энергоресурсов путём сопоставления динамики изменения удельных показателей при идентичности технологических параметров и сезонных характеристик. Рассмотрено состояние норм потребления энергоресурсов по видам выпускаемой продукции. Был выявлен потенциал сбережения энергоресурсов за счёт эффективного использования силовых трансформаторов, статических конденсаторов, природного газа и тепловой энергии в виде пара.

Ключевые слова: *энергосистема, электричество, энергоаудит предприятия, повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов,*

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

повышение эксплуатационного ресурса оборудования, организационные и низкозатратные мероприятия по энергосбережению.

The article discusses the issues of assessing energy resource consumption indicators used in various production divisions of the JV Agromir LLC. Characteristics of the structure of consumption of fuel and energy resources are given and energy balances are analyzed by type of energy resource. For the workshops of the enterprise, the factors influencing the consumption of energy resources are considered and an assessment of the specific energy consumption for certain types of resources is given in relation to the influencing factor. In addition, direct energy losses due to energy leakage and the efficiency of energy resource use were assessed by comparing the dynamics of changes in specific indicators with identical technological parameters and seasonal characteristics. The state of energy consumption standards by type of product and their compliance with the current Regulations are considered. The potential for energy savings through the efficient use of power transformers, static capacitors, natural gas and thermal energy in the form of steam was identified.

Key words: energy system, electricity, energy audit of enterprises, increasing the efficiency of use of fuel and energy resources, increasing the service life of equipment, organizational and low-cost energy saving measures.

На основании Постановления КМ РУз от 07.08.2006 г. № 164 «Правила проведения энергетических обследований и экспертиз потребителей топливно-энергетических ресурсов», Закона РУз от 25 апреля 1997 г. № 412 - I «О рациональном использовании энергии» и Постановления Президента РУз № 4779 от 10 июля 2020 г. «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», проведено комплексное энергетическое обследование (энергоаудит) подразделений СП ООО «Agromir».

Основным видом деятельности СП ООО «Agromir» является розлив фруктовых, овощных соков и нектаров под торговыми марками «BLISS» и «MEVA JUICE», производство фруктовых соков, а также фруктовых, овощных паст и пюре, выпуск плодоовощных консервов.

Таблица 1

№	Вид энергии	Потребление			
		2021 г.		2022 г.	
		т. у. т.	%	т. у. т.	%
1.	Электроэнергия	518,9	11	685,7	14
2.	Природный газ	4208	89	4369	86
	Итого	4726,9	100	5054,7	100

На предприятии установлено современное технологическое оборудование

производства Швейцарии, Италии, Югославии, Германии и т.д., оборудование производственных линий отвечает высочайшим требованиям качества и безопасности пищевых продуктов. Линии полностью автоматизированы.

На предприятии используются два вида энергоресурсов – электроэнергия и природный газ, а также пар для технологических нужд (табл. 1).

На рис.1 представлены характерные графики расхода электроэнергии по суткам за сентябрь 2023 года (сезон) и январь 2023 года (не сезон).

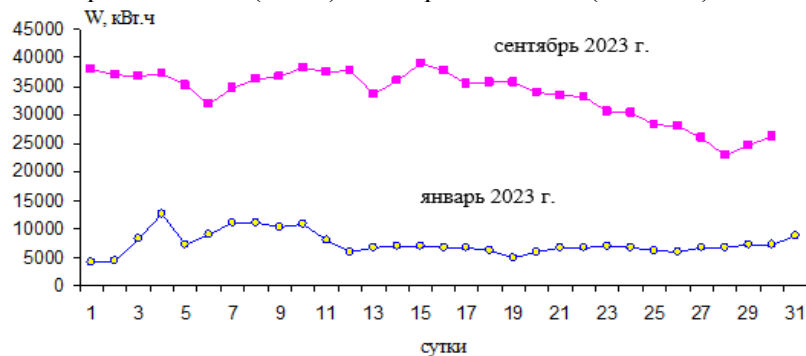


Рис.1. Характерные графики расхода электроэнергии по суткам за сентябрь 2023 года (сезон) и январь 2023 года (не сезон)

Из графиков видно, что в течение месяца суточное потребление электроэнергии неравномерно, что связано с сезонностью работы предприятия.

На рис.2 представлен суточный график расхода электроэнергии за максимально загруженные сутки 04.09.2023 г.

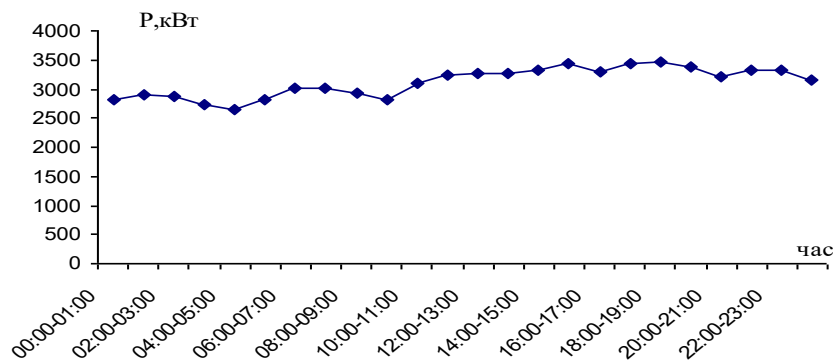


Рис.2. Суточный график расхода электроэнергии за максимально загруженные сутки

Из графика видно, что максимальная величина часового значения мощности составляет 3454 кВт (18:00-19:00 ч), а минимальное значение – 2655 кВт (04:00-05:00 ч), то есть колебание потребляемой мощности составляет 20 %.

На рис.3 представлен график потребления природного газа по месяцам 2022 года.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Факторы, влияющие на потребление энергии. Основными факторами, влияющими на потребление энергоресурсов на производстве, являются:

- сезонность поставки фруктов и овощей;
- недозагруженность силовых трансформаторов ($\kappa_3 = 0,2 \div 0,3$);
- низкая эксплуатационная нагрузка котла (45-50% от номинальной) в период не сезона.

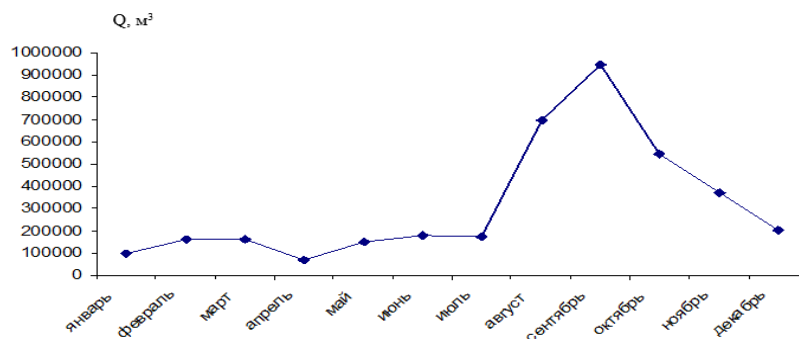


Рис.3. График потребления природного газа по месяцам 2022 года

1. *Нестабильность (сезонность) поставки сырья.* На выпуск продукции предприятием влияет: сезонность, урожайность овощей и фруктов, стабильность поставки сырья (из-за рубежа). В связи с этим удельный расход электроэнергии значительно колеблется. Такое колебание удельного расхода электроэнергии связано с неполной загруженностью технологического оборудования по производительности.

2. *Недозагруженность силовых трансформаторов.* На предприятии имеется 7 трансформаторных подстанций, из которых 3 являются двухтрансформаторными. Всего установлено 11 силовых трансформаторов суммарной мощностью 7120 кВА.

При проверке загруженности силовых трансформаторов выявлено, что в период не сезона все трансформаторы остаются под напряжением и работают с загрузкой 20%.

Эффективной работой трансформаторов считается, когда они загружены более 75%. В связи с этим, чтобы поднять эффективность силовых трансформаторов и снизить потери электроэнергии рекомендуется в период не сезона предлагается оставлять в работе 2 трансформатора по 1000 кВА, т.е. 2000 кВА. Остальные трансформаторные подстанции рекомендуется закольцевать низковольтными кабелями с низкой стороны.

Выполнение этих мероприятий приведет к снижению удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции. Кроме того, суммарная мощность компенсирующих установок составляет 1880 кВАр. При анализе работы компенсирующих устройств выяснилось, что практически на каждой трансформаторной подстанции имеются неработающие конденсаторы в компенсирующих установках (840 кВАр), что приводит к снижению коэффициента мощности предприятия.

3. *Эксплуатационная нагрузка котла.* Максимальный КПД котлов, установленных на котельной предприятия, составляет 91,4%.

Во время сезона работают 4 котла, в том числе:

2 котла ДЕ-16-14ГМ с паропроизводительностью 16 т/ч;

1 котел ДЕ-10-14ГМ с паропроизводительностью 10 т/ч;

1 котел SKOS YUKSELTUR с паропроизводительностью 12 т/ч;

Суммарная паспортная производительность котлов составляет 54 т/ч.

Нагрузка всех котлов, работающих в период сезона составляет 70%.

В не сезон работает один котел SKOS YUKSELTUR с паропроизводительностью 12 т/ч, нагрузка которого составляет 40%.

Сниженная эксплуатационная нагрузка котла приводит к увеличению удельного расхода газа на единицу продукции.

Электроснабжение СП ООО «AGROMIR» осуществляется через трансформаторную подстанцию 110/10 кВ «AGROMIR», которая установлена на территории предприятия. На этой подстанции установлен силовой трансформатор ТДН-6300/110/10 кВ. и она находится на балансе СП ООО «Agromir». На трансформаторные подстанции напряжение подается воздушной линией 10 кВ.

Коммерческий учет расхода электроэнергии осуществляется головным счетчиком Энергомера СЕ 308.

Таблица 2

№	Наименование цехов	Потребляемая мощность, кВт	% к общей потребляемой мощности
<i>Технологические нужды</i>			
1	Соковый цех	1665,3	35,2
2	Консервный цех	200,4	4,2
3	Цех по розливу соков и нектаров	574,5	12,1
4	Томатный цех	1526,6	32,3
	Итого	3966,8	83,8
<i>Вспомогательные нужды</i>			
1	Морозильная камера	73	1,5
2	Насосная	229,5	4,9
3	Парокотельный цех	144,6	3,1
4	Механический цех, электроцех, весовая, лаборатория, склады	90,4	1,9
5	Освещение помещений и территории	80	1,7
			13,1
<i>Прочие нужды</i>			
1	АБК, столовая, пекарня, гараж	145,2	3,1
	ВСЕГО:	4729,5	100

К подстанции «Agromir» присоединены 7 сторонних организаций. Каждая субподрядная организация имеет свои счетчики коммерческого учета расхода электроэнергии и производит оплату электроэнергии самостоятельно территориальному предприятию электросети. Расход электроэнергии СП ООО

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

«Agromir» определяется после вычета расхода электроэнергии сторонних организаций из показаний головного счетчика.

1. Электробаланс составлен по инструментальным замерам потребляемой мощности технологического и энергетического оборудования предприятия. Замеры производились многофункциональным электронным прибором AR-5.

Баланс по потребляемой мощности по основным производственным подразделениям в целом приведён в табл. 2 и рис.4.

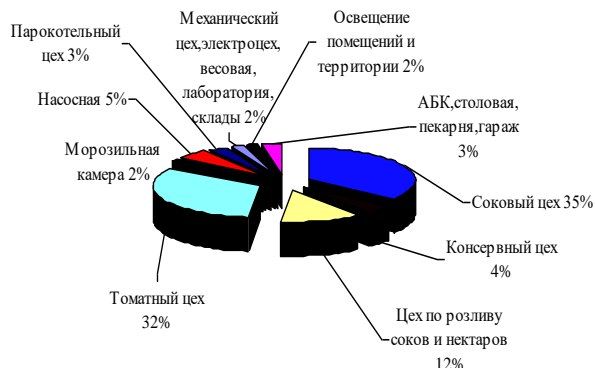


Рис.4. Баланс потребляемой мощности по предприятию в целом

Из баланса потребляемой мощности видно, что основным потребителем мощности являются: соковый цех – 35% и цех по производству томатной пасты – 32%. Остальные участки потребляют от 1,5 до 5 % от общей потребляемой мощности.

При обследовании был выявлен потенциал сбережения электроэнергии за счет эффективного использования силовых трансформаторов, статических конденсаторов, установки солнечных батарей для наружного освещения.

На предприятии можно отметить хорошо поставленную работу по использованию электроэнергии. Однако отмечается отсутствие счетчиков технического учета электроэнергии по цехам.

При обследовании был выявлен потенциал сбережения природного газа за счет эффективного внедрения экологически чистых систем солнечного горячего водоснабжения и замены устаревшего магистрального трубопровода.

Выявленные и рекомендованные к внедрению мероприятия позволят снизить величину удельного расхода электро- и теплоэнергии на единицу выпускаемой продукции и повысить эффективность использования энергоресурсов предприятия.

Литература

1. Хошимов Ф.А., Дзевенцкий А.Я., Ибрагимов К.Х. Многовариантное решение задач анализа, прогнозирования и нормирования электропотребления на

промышленных предприятиях, выпускающих разнородную продукцию – М.: // Промышленная энергетика, 2000, № 5.

2. Хошимов Ф.А., Дзевенцкий А.Я., Ибрагимов К.Х. Метод анализа и расчета энергоемкости продукции предприятий, использующих комплексную электрическую энергию и энергию вторичных энергоносителей – М.:// Промышленная энергетика, 2001, № 4.

3. Дзевенцкий А.Я., Захидов Р.А., Баратов Н.А., Хошимов Ф.А. Энергосбережение в промышленности. – Т.: Фан 1993, - 140 с.

4. Хошимов Ф.А. Методические основы разработки параметров управления энергосбережением. – Т.: // Международная научно-техническая конференция «Инновация-2010», 2010.

5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Государственная инспекция по надзору в электроэнергетике. Ташкент. 2005. - 308 с.

*Представлено Институт
проблем энергетики АН РУз*

УДК 621.311.1

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров

Саноат корхоналари электр таъминоти тизимидаги электр тармоқларидан фойдаланганда уларнинг энергия самарадорлигини баҳолашда асосий мезон бу электр энергияси исрофлари ҳисобланади. Ишлатиш вақтида электр энергия исрофларининг мақбул даражасини ушлаб туриш ва камайтириш учун улардаги асосий ускуналар, хусусан, куч трансформаторларининг самарадорлигини таъминлаш лозим. Ҳозирги вақтда корхоналарнинг электр таъминоти тизимларида куч трансформаторлари кам юкланган бўлади. Бир қатор куч трансформаторларида юкланмаган иш ҳолати бир неча соат давомида кузатилади. Бундай вазиятда трансформаторлар томонидан реактив магнитланиш қуввати истеъмоли ортади, бу эса салт ишлашда магнит оқимни яратишга сарфланади, яъни куч трансформаторларида салт ишлаш исрофлари сезиларли даражада ортади. Саноат корхоналари электр таъминоти тизимида ишлатиладиган куч трансформаторлари сонини ва хизмат қилиш муддатини ҳисобга олган ҳолда, улардаги электр энергия исрофларини камайитириш энергияни тежаш учун сезиларли захирадир. Шуни инобатга олган ҳолда, мақолада куч трансформаторларининг юкланиш даражасини ҳисобга олган ҳолда электр тармоқлари самарадорлигини баҳолаш методикаси таклиф этилган. Ҳисоб-китоблар Мурунгов кони электр таъминоти тизимидаги 102 нимстансиясидан чиқадиган 6 кВ тақсилловчи тармоқлар мисолида амалга оширилган.

Калит сўзлар: саноат корхонаси, электр таъминоти тизими, тақсимловчи тармоқ, юкланиш коэффициенти, энергия самарадорлиги.

В процессе эксплуатации электрических сетей систем электроснабжения промышленных предприятий основным критерием оценки их энергоэффективности, является величина потерь электрической энергии. Для снижения и поддержания оптимального уровня потерь электроэнергии в процессе эксплуатации необходимо обеспечивать экономичность функционирования основного оборудования, в частности силовых трансформаторов. В настоящее время в системах электроснабжения предприятий силовые трансформаторы работают в ненагруженном режиме. На ряде силовых трансформаторов ненагруженный режим работы наблюдается в течении нескольких часов. В данной ситуации происходит увеличение потребляемой трансформаторами реактивной мощности намагничивания, которая расходуется на создание магнитного потока холостого хода, т.е. значительно увеличивается доля постоянных потерь в силовых трансформаторах. Учитывая значительное количество и срок службы силовых трансформаторов в системе электроснабжения промышленных предприятий, снижение потерь электроэнергии в них представляет собой ощутимый резерв для

энергосбережения. Учитывая данное в статье предложена, методика оценки эффективности работы электрических сетей с учётом влияния коэффициента загрузки силовых трансформаторов. Необходимые расчёты выполнены на примере распределительных сетей 6 кВ отходящих от подстанции 102 системы электроснабжения месторождения Мурунтау.

Ключевые слова: промышленное предприятие, система электроснабжения, распределительная сеть, коэффициент загрузки, энергоэффективность.

In the process of operation of electrical networks of power supply systems of industrial enterprises, the main criterion for assessing their energy efficiency is the amount of power losses. To reduce and maintain the optimal level of power losses in the process of operation, it is necessary to ensure the efficiency of operation of the main equipment, in particular, power transformers. Currently, in the power supply systems of enterprises, power transformers operate in the unloaded mode. On a number of power transformers unloaded mode of operation is observed for several hours. In this situation, there is an increase in the magnetizing reactive power consumed by the transformers, which is spent to create the magnetic flux of idling, i.e. the share of idling losses in power transformers increases significantly. Taking into account the significant number and service life of power transformers in the power supply system of industrial enterprises, the reduction of power losses in them is a tangible reserve for energy saving. Taking this into account, the article proposes a methodology for assessing the efficiency of electrical networks, taking into account the influence of the load factor of power transformers. Necessary calculations are made on the example of 6 kV distribution networks of the Muruntau field power supply system from substation number 102.

Key words: industrial enterprise, power supply system, distribution network, load factor, energy efficiency.

В настоящее время в системах электроснабжения предприятий силовые трансформаторы работают в ненагруженном режиме. На ряде силовых трансформаторов ненагруженный режим работы наблюдается в течении нескольких часов. В данной ситуации происходит увеличение потребляемой трансформаторами реактивной мощности намагничивания, которая расходуется на создание магнитного потока холостого хода, т.е. значительно увеличивается доля потерь холостого хода [1] в силовых трансформаторах. Поэтому одним из критериев оценки эффективности работы распределительной сети (РС) системы электроснабжения промышленного предприятия является коэффициент загрузки установленных силовых трансформаторов [2,3].

Для оценки влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности [4] и соответственно потерь электроэнергии (ЭЭ) предложена методика оценки эффективности работы электрических сетей систем электроснабжения.

Методика оценки эффективности работы электрических сетей. Нагрузку трансформатора $S_{эф}$, отвечающую показателю энергоэффективности, можно найти по формуле:

$$S_{эф} = S_{ном} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{xx}}{\Delta P_{кз}}}; \quad (1)$$

где $S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А; ΔP_{xx} - потери холостого хода, кВт; $\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания, кВт.

Отношение энергоэффективной нагрузки и номинальной мощности трансформатора является коэффициентом загрузки трансформатора $k_з$ отвечающий показателю энергоэффективности [5]:

$$k_{заг}^{эф} = \frac{S_{эф}}{S_{ном}}; \quad (2)$$

Поставляя формулу 2 в формулу 1 можно найти коэффициент загрузки, соответствующий максимальной эффективности для одного трансформатора:

$$k_{заг}^{эф} = \sqrt{\frac{\Delta P_{xx}}{\Delta P_{кз}}}; \quad (3)$$

Учитывая, что в РС системы электроснабжения имеются несколько силовых трансформаторов определение коэффициента загрузки, соответствующий максимальному значению эффективности для РС, рассчитывается следующим образом:

$$k_{загРС}^{эф} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{заг}^{эф} \cdot S_{ном i}}{\sum_{i=1}^n S_{ном i}}; \quad (4)$$

Фактическое значение коэффициент загрузки РС, определяется по отношению текущей нагрузки и номинальной мощности трансформаторов:

$$k_{заг}^{рс} = \frac{S_{гУ}}{S_{\Sigma ном}} = \frac{S_{гУ}}{\sum_{i=1}^n S_{ном i}}; \quad (5)$$

где, $S_{гУ}$ - полная мощность головного участка (ГУ) распределительной сети; $S_{\Sigma ном}$ – суммарная установленная мощность трансформаторов распределительной сети.

Путем сравнения фактических значений коэффициента загрузки с коэффициентом, соответствующим максимальной эффективности, выполняется оценка эффективности работы электрических сетей систем электроснабжения.

Оценка эффективности работы электрических сетей. На основе представленной методики проведены расчёты оценки энергоэффективности работы РС ЛК-102-1-14 (рис.1) и ЛК-102-2-1 (рис.2) систем электроснабжения месторождения Мурунтау. Исходными данными являются сведения по отпуску электроэнергии и, соответственно, результаты расчётов потерь ЭЭ за июль, август и сентябрь 2023 года.

Выполним оценку коэффициента загрузки, соответствующий максимальной эффективности для ЛК-102-1-14 (табл.1) и ЛК-102-2-1 (табл.2).

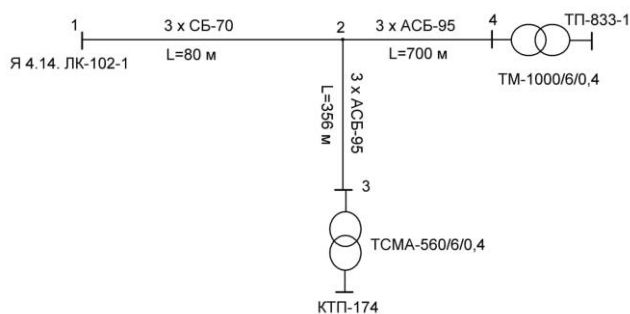


Рис.1. Однолинейная схема РС 6 кВ (ЛК-102-1 яч.14)

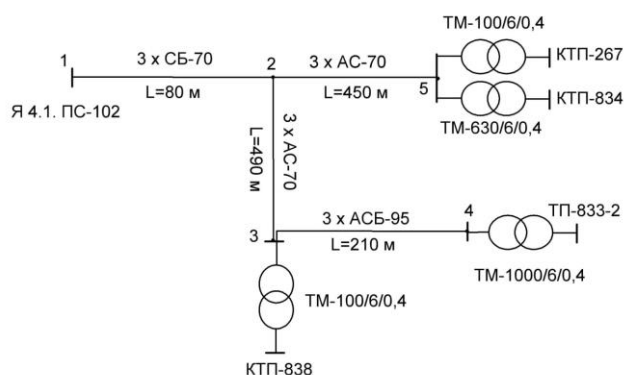


Рис.2. Однолинейная схема РС 6 кВ (ЛК-102-2 яч.1)

Таблица 1

Коэффициент загрузки для ЛК-102-1-14

№	Наим. узла	Марка тр-ра	Sном	dPкз ¹	dPxx ¹	Кзаг_ном
-	-	-	кВА	кВт	кВт	-
1	174 КТП	ТСМ-560/6	560	7,2	2	0,527
2	833 1 ТП	ТМ-1000/6	1000	12,2	2,45	0,448
	Всего		1560			0,476

Таблица 2

Коэффициент загрузки для ЛК-102-2-1

№	Наим. узла	Марка тр-ра	Sном	dPкз ¹	dPxx ¹	Кзаг_ном
-	-	-	кВА	кВт	кВт	-
1	267 КТП	ТМ-100/6	100	1,97	0,36	0,427
2	834 КТП	ТМ-630/6	630	7,6	1,56	0,453
3	838 КТП	ТМ-100/6	100	1,97	0,36	0,427
4	833 2 КТП	ТМ-1000/6	1000	12,2	2,45	0,448
	Всего		1830			0,448

¹ Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. /Под ред. И.А. Баумштейна -М.1989

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

На основе результатов расчёта режимов ЛК-102-1-14 и ЛК-102-2-1, определены значения по полной мощности ГУ $S_{гУ}$ с использованием которых по формуле (5) определены значения коэффициента загрузки РС (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Фактические значения коэффициента загрузки ЛК-102-1-14

Показатель	ед. изм.	июль	август	сентябрь
T	час	744	744	720
$S_{гУ}$	кВА	226	209	153
$S_{ном}$	кВА	1560	1560	1560
$K_{заг\ PC}$		0,145	0,134	0,098
$K_{заг\ ср.\ PC}$		0,126		

Таблица 4

Фактические значения коэффициента загрузки ЛК-102-1-14

Показатель	ед. изм.	июль	август	сентябрь
T	час	744	744	720
$S_{гУ}$	кВА	42	67	71
$S_{ном}$	кВА	1830	1830	1830
$K_{заг\ PC}$		0,023	0,037	0,039
$K_{заг\ ср.\ PC}$		0,033		

Для коэффициентов загрузки, соответствующих максимальной эффективности и фактических значений, с использованием программы PROD 10/6, выполнены расчёты потерь ЭЭ, результаты которых представлены в табл.5 и табл.6.

Таблица 5

Результаты расчётов потерь ЭЭ по ЛК-102-1-14

Показатель	ед.изм.	$K_{заг\ эф}$	$K_{заг\ ср.}$
$K_{заг}$	-	0,476	0,126
W	тыс.кВт*ч	470	125
$\Delta W_{наг}$	тыс.кВт*ч	4,083	0,287
$\Delta W_{хх}$		1,268	1,302
ΔW_{Σ}		5,351	1,589
$\Delta W_{наг}$	%	0,869	0,229
$\Delta W_{хх}$		0,27	1,041
ΔW_{Σ}		1,139	1,271

Для сравнительного анализа будем использовать результаты расчётов потерь ЭЭ, полученные в процентах относительно отпуска по головному участку.

Как видно по табл.5 для ЛК-102-1-14 фактическое (среднемесячное) значение коэффициента загрузки ниже коэффициента загрузки, соответствующий максимальной эффективности в 3,8 раз. При этом нагрузочные потери в РС меньше в 3,8 раз, потери холостого хода больше в 3,9 раза, а суммарные потери больше в 1,1 раза. Как видно из табл.6 для ЛК-102-2-1 фактическое (среднемесячное) значение коэффициента загрузки ниже коэффициента загрузки, соответствующий максимальной эффективности в 13,6 раз.

Таблица 6

Результаты расчётов потерь ЭЭ по ЛК-102-2-1

Показатель	ед.изм.	Кзаг ээф	Кзаг ср.мес.
$K_{заг}$	-	0,448	0,033
W	тыс.кВт*ч	520	30
$\Delta W_{наг}$	тыс.кВт*ч	6,13	0,02
ΔW_{xx}		1,47	1,523
ΔW_{Σ}		7,6	1,543
$\Delta W_{наг}$	%	1,179	0,068
ΔW_{xx}		0,283	5,077
ΔW_{Σ}		1,462	5,145

При этом нагрузочные потери в РС меньше в 17,3 раза, потери холостого хода больше в 17,9 раз, а суммарные потери больше в 3,5 раза.

Определение приемлемых пределов коэффициента загрузки. С целью определения приемлемых пределов коэффициента загрузки РС для обеспечения энергоэффективности выполнены расчёты потерь ЭЭ при различных значениях коэффициента загрузки для РС ЛК-102-1-14 и РС ЛК-102-2-1.

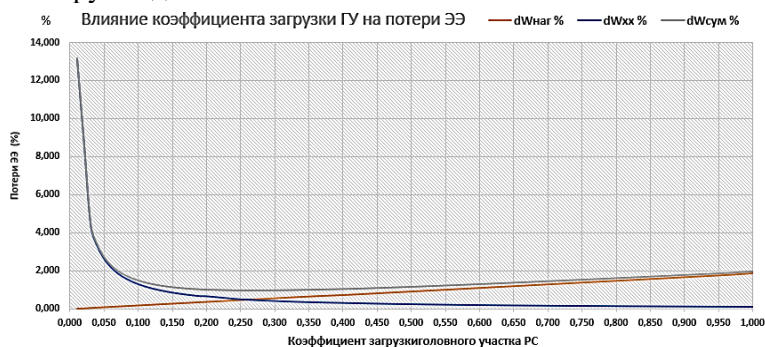


Рис.3. Потери ЭЭ (%) в зависимости от коэффициента загрузки РС ЛК-102-1-14

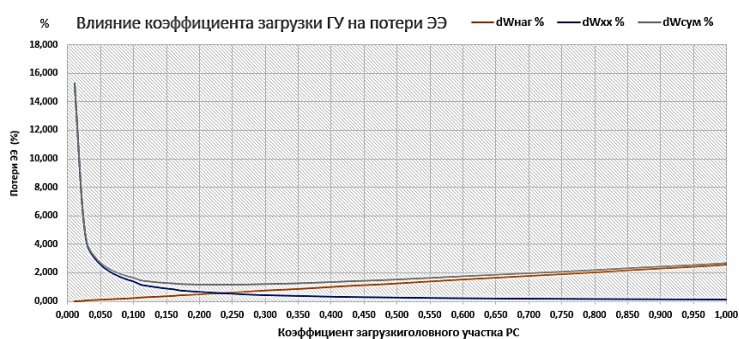


Рис.4. Потери ЭЭ (%) в зависимости от коэффициента загрузки РС ЛК-102-2-1

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

На основе полученных данных для РС ЛК-102-1-14 (рис.3) и РС ЛК-102-2-1 (рис.4.) построены графики изменения потерь ЭЭ (в %) в зависимости от коэффициента загрузки РС.

Как видно по результатам, с точки зрения энергоэффективности минимальное значение для ЛК-102-1-14 наблюдается при коэффициенте загрузки равному 0,25 где суммарные потери составили 2,442 тыс.кВт*ч или 0,977 % относительно отпуска электроэнергии по ГУ равному 250 тыс.кВт*ч.

Для ЛК-102-2-1 минимальное значение наблюдается при коэффициенте загрузки равному 0,26, где суммарные потери составили 3,463 тыс.кВт*ч или 1,154 % относительно отпуска электроэнергии по ГУ равному 300 тыс.кВт*ч.

Учитывая результаты расчётов для РС ЛК-102-1-14 и ЛК-102-2-1, приемлемый диапазон изменения коэффициента загрузки можно принять равным от 0,2 до 0,5 (20 - 50 %) относительно суммарной установленной мощности трансформаторов РС.

Заключение. Фактические (среднемесячные) значения коэффициента загрузки значительно ниже коэффициента загрузки, соответствующий максимальной эффективности: для ЛК-102-1-14 – в 3,8 раз; для ЛК-102-2-1 – в 13,6 раз.

С точки зрения обеспечения энергоэффективности, приемлемый диапазон изменения коэффициента загрузки можно принять равным от 0,2 до 0,5 (20 - 50 %) относительно суммарной установленной мощности трансформаторов РС.

Анализ коэффициента загрузки показал, что значительная часть потерь электроэнергии в электрических сетях системы электроснабжения обусловлена малой нагрузкой силовых трансформаторов. Поэтому важной практической задачей является выявление в электрических сетях системы электроснабжения промышленных предприятий таковых трансформаторов с последующим проведением мероприятий по рационализации их работы.

К числу мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности систем электроснабжения промышленных предприятий, можно отнести замену трансформаторов (систематически загруженных менее 20 % номинальной мощности), и их перегруппировку, перевод нагрузки трансформаторов на другие трансформаторы, а также отключение трансформаторов (временно загруженных менее 20 % номинальной мощности) на время работы на холостом ходу.

Реализация указанных мероприятий способствует естественному уменьшению потерь электроэнергии в РС и, соответственно, повышению энергетической эффективности промышленного предприятия.

Литература

1. Power Transformers – Introduction to measurement of losses. Document published: August 2016 Lead author of this document: Angelo Baggini (ECD) Project coordinator: WIP. Horizon 2020 programme Project acronym: INTAS Project full name: Industrial and tertiary product Testing and Application of Standard/ (https://www.intastesting.eu/storage/app/media/INTAS_transformers_descr.pdf).

2. Ефременко В.М. Анализ влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности // В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский // Вестн. Кузбасского гос. Тех. унив., 2009. № 6. с. 46-48.

3. Наумов И. В., Карамов Д. Н., Третьяков А. Н., Якупова М. А., Федоринова Э. С. Исследование загрузки силовых трансформаторов в системах сельского электроснабжения. Safety and Reliability of Power Industry 2020, vol. 13, no. 4, pp. 282 – 289. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-4-282-289>.

4. Алюнов А.Н., Бабарушкин В.А., Вяткина О.С. Оптимизация режимов работы силовых трансформаторов // Онлайн Электрик: Электроэнергетика. Новые технологии, 2014.–URL: [//articles.php?id=114](http://articles.php?id=114).

5. Zeuner Kaya, Nazim Imal. On power transformers energy efficiency based load transfer analysis/ International Journal of Energy Applications and Technologies, December 2018. doi: 10.31593/ijeat.442589.

6. Baidak Yu., Matukhno V., Chaikovskiy V. Energe efficient transformers with various load graphics for the consumers of electric power// Refrigeration Engineering and Technology 52(2), June 2016 // doi: 10.21691/ret.v52i2.59.

7. Ивакин В. Н., Ковалев В. Д., Магницкий А. А. Нормирование энергоэффективности распределительных трансформаторов // Энергия единой сети 2017; 5 (34): 20 – 31.

8. Котов Г. Н. Потери в силовом трансформаторе и как их уменьшить [Текст] // Г. Котов // Радиоаматор, 2016; № 2: -С.14 – 17.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 625.311:502.5

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

М.А. Короли, А.Р. Иванисова

Шаҳар биноларининг кўриниши, тартиби, дизайни, шаҳар инфратузилмасини ривожлантириши ва ҳаётни ташиқил этиши кўп жиҳатдан уларни энергия билан таъминлаш усуллари ва воситаларига боғлиқ. Ўз навбатида, энергия ресурслари билан таъминлаш тизимларининг тузилиши ва уларни маиший, саноат, савдо, савдо, транспорт ва шаҳар иқтисодиётининг бошқа тармоқларида истеъмол қилиши, энергия истеъмол қилиши режимларига иқлим шароити ва шаҳарлар, аҳоли пунктларининг географик жойлашуви, уларнинг тарихий хусусиятлари таъсир кўрсатади. Ўтмиш, миллий хусусиятлар ва анъаналар, шаҳар хўжалик тузилиши, демографик омил ва бошқалар. Замонавий концептсияга кўра, энергия истеъмоли, лойиҳалаш, қуриши ва бинолардан фойдаланиши нуқтаи назаридан энергия материаллари, меҳнат харажатларини ва атроф-муҳитга таъсирини минималлаштиришини мақсад қилган ҳолда ягона технологик занжир сифатида қаралади. Ишда турар-жой биноларини реконструкция қилиши, иқлим параметрларининг комплекс таъсирини ҳисобга олган ҳолда замонавий технологиялардан фойдаланиши, иссиқлик муҳитини барқарорлаштиришида микроиқлимни назорат қилишида инсон шитироки, бир қатор стандартлаштирилган санитария-гигиена ва санитария меъёрларига риоя қилиши, иссиқлик таъминоти эҳтиёжлари учун ёқилги сарфини республика бўйича умумий истеъмолнинг 20 фоизига камайтириши имконини берадиган гигиеник кўрсаткичлар, хусусан, иссиқлик шароитлар орқали уларнинг самарадорлигини ошириши чора-тадбирлари таклиф этилган.

Калит сўзлар: лойиҳалаш, қурилиши, иситиши, микроиқлим, самарадорлик. иссиқлик шароитлар, реконструкция, инсон омили.

Облик, планировка, конструкции зданий городов, развитие городских инфраструктур и организация жизни в значительной степени зависят от способов и средств их энергообеспечения. В свою очередь, на структуру систем снабжения энергетическими ресурсами и их потребления в бытовом, промышленном, торговом-коммерческом, транспортном и других секторах городского хозяйства, на режимы энергопотребления влияют климатические условия и географическое расположение городов, населенных пунктов, их историческое прошлое, национальные особенности и традиции, структура городского хозяйства, демографический фактор и т. д. Согласно современной концепции, с точки зрения энергопотребления, проектирования, строительства и использования здания рассматриваются как единая технологическая цепь, имеющая своей целью минимизировать энергоматериальные, трудовые затраты и воздействие на окружающую среду. В

работе предлагаются мероприятия по повышению эффективности жилых зданий посредством их реконструкции, использования современных технологий, учета комплексного влияния климатических параметров, участия человека в управлении микроклиматом при стабилизации им тепловой обстановки, соблюдения ряда нормируемых санитарно-гигиенических показателей, и в частности тепловых условий, что позволит снизить потребление топлива на нужды теплоснабжения на 20% от его общего потребления республикой.

Ключевые слова: проектирование, строительство, отопление, микроклимат, эффективность, тепловые условия, реконструкция, человеческий фактор

The appearance, layout, design of city buildings, the development of urban infrastructures and the organization of life largely depend on the methods and means of their energy supply. In turn, the structure of energy resource supply systems and their consumption in household, industrial, trade, commercial, transport and other sectors of the urban economy, energy consumption regimes are influenced by climatic conditions and the geographical location of cities, settlements, their historical past, national characteristics and traditions, urban economic structure, demographic factor, etc. According to the modern concept, from the point of view of energy consumption, design, construction and use, buildings are considered as a single technological chain, with the goal of minimizing energy, material, labor costs and environmental impact. The work proposes measures to increase the efficiency of residential buildings through their reconstruction, the use of modern technologies, taking into account the complex influence of climatic parameters, human participation in managing the microclimate while stabilizing the thermal environment, compliance with a number of standardized sanitary and hygienic indicators, and in particular thermal conditions, which will reduce fuel consumption for heat supply needs by 20% of its total consumption in the republic.

Key words: design, construction, heating, microclimate, efficiency thermal conditions, reconstruction, human factor.

Введение. Жизнь современного города невозможна без надежно работающей энергетической инфраструктуры, включающей источники ТЭР, устройства их преобразования, сети транспорта, и распределения, а также энергопотребляющие системы: освещение, отопление, вентиляция, водоснабжение и т.д. Облик, планировка, конструкции зданий городов, развитие городской инфраструктуры и организация жизни в значительной степени зависят от способов и средств их энергообеспечения. В свою очередь, на структуру и режимы систем снабжения энергетическими ресурсами и их потребления в бытовом, промышленном, торгово-коммерческом, транспортном и других секторах городского хозяйства, влияют климатические условия и географическое расположение городов, населенных пунктов, их историческое прошлое, национальные особенности и традиции, структура городского хозяйства, демографический фактор и т.д.

Согласно современной концепции, с точки зрения энергопотребления, проектирование, строительство и использование здания рассматриваются как единая

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

технологическая цепь, имеющая своей целью минимизировать энергоматериальные, трудовые затраты и воздействие на окружающую среду. Из общего объема тепловой энергии, потребляемой при строительстве и эксплуатации зданий, сегодня только 10% расходуется на производство строительных материалов и изделий, на процесс строительства, а 90% идет на отопление и горячее водоснабжение, что в 2 раза больше, чем в западноевропейских странах.

Типовая структура расхода тепловой энергии зданием, а также потенциал энергосбережения следующие: наружные стены – 30% (потенциал 50%); окна – 35% (потенциал 50%); вентиляция – 15% (потенциал 50%); горячая вода – 10% (потенциал 30%); крыша, пол – 8% (потенциал 50%); трубопровод, арматура – 2% (потенциал 5%).

Исследования показывают, что существенную экономию - до 14% тепловой энергии в здании можно получить при увеличении термосопротивления наружных стен в 2–2,5 раза.

На цели отопления, вентиляции и горячего водоснабжения расходуется более 40% от общего потребления топлива. Потенциал энергосбережения, по оценкам отечественных и зарубежных экспертов, в системах теплоснабжения республики составляет около 50%. Следовательно, за счет энергосберегающих мероприятий можно снизить потребление топлива на нужды теплоснабжения на 20% от его общего потребления республикой [1].

В настоящее время, как во всем мире, так и в Узбекистане, уделяется большое внимание развитию энергоснабжения, и применению энергоэффективных технологий. В Узбекистане стало перспективным развитие промышленности, уделяется внимание строительству жилых комплексов, населенных пунктов и расширению городов. Повышение надежности, экономичности и качества существующих систем теплоснабжения достигается путем планомерного осуществления комплекса технических и организационных мероприятий [2,3].

Целью статьи является анализ энергопотребления, проектирования, строительства и использования здания как единой технологической цепи и современных подходов к повышению их энергоэффективности.

Основная часть. Из общего объема тепловой энергии, потребляемой при строительстве и эксплуатации зданий сегодня, только 10% расходуется на производство строительных материалов и изделий, а также на процесс строительства, а 90% идет на отопление и горячее водоснабжение и др., что в 2 раза больше, чем в западноевропейских странах. Потенциал энергосбережения, по оценкам отечественных и зарубежных экспертов, в системах теплоснабжения республики составляет около 50%. Следовательно, за счет энергосберегающих мероприятий можно снизить потребление топлива на нужды теплоснабжения на 20% от его общего потребления республикой.

Особое место в решении данной проблемы отводится реконструкции эксплуатируемого фонда жилых и общественных зданий, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций которых, не удовлетворяют современным требованиям. Теплозащита большинства жилых зданий нарушена или

отсутствует поэтому при нашем резко-континентальном климате, внутренняя температура помещения «скачет» синхронно с температурой наружного воздуха, что показали аномальные морозы в январе текущего года. Для уменьшения неоправданно большого энергопотребления в процессе эксплуатации строительных объектов, необходимо введение новых нормативов по теплозащите зданий, предусматривающих значительное повышение требований к их тепловой изоляции в холодный и жаркий периоды. Наиболее действенным способом повышения энергоэффективности жилых зданий является применение современных конструктивных решений с использованием теплоизоляционных материалов [4,5]. При относительно небольших материальных вложениях, применение теплоизоляционной продукции позволяет существенно повысить уровень комфортности, тепло- и звукоизоляцию жилых зданий. Кроме того, это позволит сократить эксплуатационные расходы, то есть добиться весомой экономии топливных ресурсов. В жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданиях утеплители обеспечивают заданные параметры микроклимата внутри помещения. Тепловая изоляция позволяет уменьшить толщину стен зданий, облегчить их массу, уменьшить массу и объем фундаментов, повысить сборность конструкций. Это позволяет при том же объеме строительства сократить затраты, в том числе и энергетические, на производство строительных материалов, на их перевозку и подъем, на возведение зданий. Анализ опыта различных стран в решении проблемы энергосбережения показывает, что одним из наиболее эффективных путей ее решения является сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений, промышленного оборудования и тепловых сетей. В этой связи обращает на себя внимание интенсивное развитие в республике промышленности теплоизоляционных материалов [6,7].

Известно, что одним из важнейших элементов благоустройства жилого здания является соблюдение в его помещениях целого ряда нормируемых санитарно-гигиенических показателей и, в частности, тепловых условий. Это требование может быть достигнуто как путем применения рационально-планировочных, конструктивных решений жилых зданий, так и путем использования эффективной системы отопления.

Натурные исследования и практика эксплуатации жилых домов массового строительства в республике показывают, что тепловые условия в их помещениях не всегда соответствуют требуемым нормам отопительного периода. В действительности состояние систем отопления не обеспечивает достаточной комфортности, и в этой связи, жильцы инстинктивно защищают себя и прибегают к всевозможным ухищрениям для обеспечения тепловых условий в квартирах.

Участие человека в управлении микроклиматом, при стабилизации тепловой обстановки занимает важное место в формировании комфортных условий. Улучшая жилищные условия, увеличивая жилую (отапливаемую площадь) квартиры, жители сопутствуют нарушению тепло - влажностного режима помещений. Одно, из таких наиболее часто встречающихся действий, когда некоторые жители проводят отопление на лоджию. Хорошо, если это сделано правильно, в противном случае,

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

например, когда теплоноситель поступает в дополнительные приборы, установленные на лоджии, из подающего стояка системы отопления, а затем сливается просто в канализацию, то в соседние квартиры подача тепла существенно сокращается, и они не получают то тепло, которое предназначено им.

В результате увеличилась отапливаемая площадь квартиры и нагрузка на систему отопления, а вырабатываемая мощность источником тепла на систему отопления не изменилась. Таким образом, жители, увеличивая отапливаемую площадь своей квартиры, при неизменной мощности системы отопления, непреднамеренно ухудшают тепловую обстановку.

Серьезную проблему представляет внутренняя коррозия труб. Устаревшая, неэффективная, разрегулированная система производства, распределения и потребления тепла ведет за собой огромный перерасход первичных энергоресурсов на теплоисточниках.

Реализация основных мероприятий, позволяющих сократить перерасход тепловой энергии в зданиях требует не только больших капитальных вложений, но и выполнение частичной реконструкции помещений и систем отопления. Поэтому в работе предлагаются мероприятия, которые можно реализовать с меньшими затратами.

Одной из причин перерасхода тепла является несоблюдение правил технической эксплуатации систем отопления. Повышение качества технической эксплуатации систем отопления позволит сократить перерасход теплоты в системах отопления и горячего водоснабжения до 15-20%. Для этого необходимо проводить планово-предупредительный ремонт систем отопления. Это соответственно общий осмотр, проводимый весной и осенью, частичный осмотр с обследованием систем и устранением мелких выявленных неисправностей и, наконец, капитальный ремонт всех систем. Следует проводить и профилактический текущий ремонт для предотвращения износа систем и, соответственно, снижения затрат на капитальный ремонт. Довольно часто в системы поступает много различных отложений и грязи, что приводит к образованию засорений и, соответственно, недогреву помещений. Ежегодная промывка систем устраняет возникновение таких неисправностей. Утечка воды через неисправленную сальниковую набивку в запорной арматуре, снижение потерь теплоты через изоляцию трубопроводов, систем, находящихся в неотапливаемых помещениях, снижение расхода тепла при совершенствовании системы оплаты за нее. К сожалению, эти мероприятия не всегда проводятся, а если и проводятся, то формально. Персонал по эксплуатации и обслуживанию систем отопления должен предельно ясно знать, в чем заключается их роль в повышении энергоэффективности зданий, должно быть дополнительно проведено обучение обслуживающего персонала способам и условиям энергосбережения [8]. Поэтому очень важна для сбережения теплоты мотивация (стимулирование) персонала эксплуатационных служб. Необходимо предусмотреть возможность направления сэкономленных средств на цели премирования работников, способствовавших такой экономии. Как показывает мировой опыт, энергоэффективность может быть достигнута и поддерживаться длительно на достаточно высоком уровне только при

наличии заинтересованности, мотивации персонала, существенно влияющего на энергопотребление и энергоэффективность здания. Не менее важно учитывать, насколько велико воздействие потребителей на систему отопления (что возможно выявить при проведении энергоаудита систем отопления), и, в итоге, часть ответственности за экономию энергоресурсов возложить на потребителя путем создания эффективной системы оплаты за фактически потребленное количество тепла, которая сама по себе является мощным стимулом к энергосбережению.

Есть еще важный аспект, который необходимо учитывать при проектировании ограждающих конструкций, исходя из условия обеспечения хороших теплозащитных свойств и долговечности, это совместное воздействие таких климатических факторов параметров как:

- температура наружного воздуха, скорость и направление ветра, неблагоприятное сочетание которых вызывает резкое увеличение потерь теплоты в зимнее время;

- температура наружного воздуха, относительная влажность, скорость и направление ветра, потери теплоты в виде собирательного показателя;

- интенсивность осадков, скорость и направление ветра;

- температура наружного воздуха, интенсивность солнечной радиации, скорость и направление ветра, и атмосферные осадки;

- температура наружного воздуха, скорость и направление ветра и максимальная величина солнечной радиации.

Для выявления изменения потерь теплоты при комплексном воздействии климатических параметров авторами были проведены натурные замеры в Ташкенте в зданиях, имеющих наиболее характерные конструкции наружных стен [9]. Замеры проводились как в холодный, так и в тёплый периоды года. Одновременно замерялись температура и относительная влажность внутри помещения, температура на внутренней и наружной поверхностях стен, тепловые потери через наружные стены, температура и относительная влажность наружного воздуха, солнечная радиация и скорость ветра [10]. В результате при учете одновременного влияния перечисленных параметров экспериментальные натурные исследования показали, что потери теплоты значительны через ограждения при северной ориентации. Однако здесь наблюдается уменьшение потерь теплоты в дневные и вечерние часы, что подтверждает физическую сущность процесса передачи тепла (чем выше наружная температура, тем меньше потери теплоты). Минимальны потери теплоты при южной ориентации что также подтверждается физической сущностью процесса передачи тепла. Также следует отметить резкие колебания потерь теплоты при незначительных колебаниях температуры наружного воздуха (0,3 - 0,7°C). Потери теплоты через ограждения, ориентированных на восток стабильны по часам суток, а на запад - наблюдаются резкие колебания по часам суток, хотя колебания температуры наружного воздуха незначительны. Максимальные потери теплоты зарегистрированы в 8 часов утра через ограждения северной ориентации. Предварительный качественный анализ проведенных экспериментальных натурных исследований показал, что параметры характеризующие тепловой режим

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ограждающих конструкций и воздействующих на них климатических факторов, изменяются в широких пределах. Также следует отметить, что уровень энергопотребления при ориентировании здания зависит от строительной формы здания и площади окон. Из всех ограждающих конструкций наибольшее влияние на тепловое поведение здания оказывают окна. В современных зданиях потери тепла через окна составляют более 50% потери тепла через наружные ограждения (потери теплоты через 1 м² окна в 2,5-3 раза больше, чем через 1 м² стены). Окна практически без запаздывания и без аккумуляции передают тепловые воздействия и при значительной доле остекления наружных ограждений тепловое поведение здания становится критическим.

Выводы. Таким образом, сущность предлагаемых подходов к повышению энергоэффективности зданий, связанных с тепловыми процессами в ограждающих конструкциях, заключается в следующем:

- наружные ограждения не должны быть источником значительных теплопоступлений в помещение, при этом, учитывая, что увеличение роли теплоустойчивости наружных ограждений приводит к неоправданному расходованию строительных материалов и удорожанию строительства;

- необходимо учитывать комплексное влияние климатических факторов на тепловой режим зданий, а также влияние климата на долговечность, прочность и теплотехнические свойства ограждающих конструкций;

- наиболее действенным способом повышения энергоэффективности жилых зданий является применение современных конструктивных решений с использованием местных теплоизоляционных материалов;

- при проектировании зданий и сооружений учитывать, что участие человека в управлении микроклиматом при стабилизации тепловой обстановки занимает важное место в формировании комфортных условий.

Литература

1. Постановление Президента РУз. О реализации опытно-испытательных проектов в целях обеспечения населения г. Ташкента Республики Узбекистан от 20.01.2023 г. № 23 «Об оперативных мерах по дополнительной тепловой и электрической энергии».

2. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по стабильному обеспечению энергоресурсами потребителей в городе Ташкент» от 11 марта 2023 г., № ПП-91.

3. Указ Президента РУз. «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии малой мощности» от 9 сентября 2022 года № УП-220.

4. Астафьева О.Е. Современные подходы к управлению энергосбережением в строительстве // Вестник университета. 2018, - №11 - С.73-76.

5. Леонова А.Н., Курочка М.В. Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции // Вестник МГСУ, 2018, 13. - №7. - С. 805-806.

6. Игнатова О.А. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия: уч. пособие. 2012.

7. Чернышев Н.Д., Тарасенко В.Н. Тенденции формирования комфортных условий в современных зданиях / Сборник докладов межд.науч.-прак. конф. БГТУ – 2016, - С.314-318.

8. Короли М.А. Энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения Узбекистана. Монография – Ташкент, 2021.

9. Короли М.А. Возможности снижения энергетических затрат в СОМ посредством эффективного учета климатических показателей района строительства /Сборник научных статей по матер. I межд. научно- практ. конференции - Курск, 2012. - С. 47.

10.Короли М.А., Умарджанова Ф.Ш., Хашимова Ф.А. Современные подходы повышения энергоэффективности зданий / Сборник научных статей. - Ташкент, 2015.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.313

**UN ISHLAB CHIQUARISH KORXONALARI ELEVATORLARIDA
QO‘LLANILADIGAN VERTIKAL TASMALI KONVEYERLARDA CHASTOTA
O‘ZGARTIRGICHLARNI QO‘LLAGAN HOLDA ENERGIYA TEJASH
TADBIRLARI IQTISODIY SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH**

N.B. Pirmatov, U.N. Mirzayev

Ushbu maqolada un ishlab chiqarish korxonalarida elevatorlarida qo‘llaniladigan vertikal tasmali konveyerlar elektr yuritmalarining samaradorligini oshirish uchun chastota o‘zgartirgichlardan foydalanishga asoslangan energiya tejash chora-tadbirlari samaradorligini o‘rganish bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan. Ushbu jarayonni tahlil qilish uchun turli xil boshqaruv usullari o‘rganildi va bu natijalar orqali vertikal tasmali konveyer elektr yuritmalarining energiya samaradorligi texnik va iqtisodiy jihatlariga asoslandi. Shuningdek, ushbu tahlillarni amalga oshirishda qo‘shimcha parametrlarning ta‘siri ham hisobga olindi. Xususan, biz tasma tezligini, dvigatelning qo‘shimcha parametrlarini, reduktorning parametrlarini misol qilib keltirishimiz mumkin. Chastotani o‘zgartirgichlardan foydalanish energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishi va konveyer tizimlarining umumiy samaradorligini oshirishi nazariy va amaliy jihatdan o‘rganildi.

Kalit so‘zlar: *vertikal tasmali konveyerlar, chastota o‘zgartirgich, energiya samaradorlik, asinxron motor.*

В данной статье приведены сведения об исследовании энергосберегающих мероприятий на основе применения преобразователей частоты для повышения эффективности электроприводов вертикальных ленточных конвейеров, применяемых в элеваторах предприятий по производству муки. Для анализа этого процесса были изучены различные методы управления, и на основе этих результатов была обоснована энергетическая эффективность электроприводов вертикальных ленточных конвейеров. Также при проведении анализа учитывалось влияние дополнительных параметров, в частности, скорости ремня, параметров двигателя и параметров редуктора. Теоретически и практически показано, что использование преобразователей частоты позволяет существенно снизить энергопотребление и повысить общую эффективность конвейерных систем.

Ключевые слова: *вертикальные ленточные конвейеры, преобразователь частоты, энергоэффективность, асинхронный двигатель.*

This article provides information on a study of the effectiveness of energy-saving measures based on the use of frequency converters to increase the efficiency of electric drives of vertical belt conveyors used in elevators of flour production enterprises. To analyze this process, various control methods were studied, and based on these results, the energy efficiency of electric drives of vertical belt conveyors was substantiated with

technical and economic aspects. These analyzes also took into account the influence of additional parameters. In particular, we can give an example of belt speed, additional engine parameters, and gearbox parameters. It has been theoretically and practically studied that the use of frequency converters can significantly reduce energy consumption and increase the overall efficiency of conveyor systems.

Keywords: *vertical belt conveyors, frequency converter, energy efficiency, asynchronous motor.*

Kirish. Un ishlab chiqarish korxonalarida foydalaniladigan elevatorlar donni saqlash tozalash hamda quritish jarayonida muhim rol o'ynaydi. Elevator tizimlarining asosiy tarkibiy qismlaridan biri vertikal tasmali konveyerlar (Noriya)dir [1]. Elevator tizimlarining samaradorligi korxonalarining unumdorligi va iqtisodiy foydasiga bevosita ta'sir qiladi.

Biroq, vertikal tasmali konveyerlarda ishlatiladigan elektr yuritmalari ko'pincha doimiy tezlikda ishlaydi, bu esa energiyadan samarasiz foydalanishga olib kelishi mumkin [2,5]. Elektr yuritmalarining samaradorligini oshirish va energiya sarfini kamaytirish uchun chastota o'zgartirgichlardan foydalanish mumkin, bu esa motorlarning tezligi va momentini yuklamaga qarab rostdash imkonini beradi.

Vertikal tasmali konveyer - elevatorlarda, don tegirmonlarida va yem tegirmonlarida sochiluvchi yuklarni (don, un, don, yem va boshqalar) vertikal harakatlanishi uchun mo'ljallangan qurilma.

Noriyalar quyidagi turlarga bo'linadi [4]:

- a) tortish organining turi bo'yicha - tasmali va zanjirli;
- b) maqsadi bo'yicha - don, un va boshqadagi makkajo'xori;
- v) dizayni bo'yicha - bitta va ikkita;
- d) mahsulotni chelaklardan tushirish xususiyatiga ko'ra:

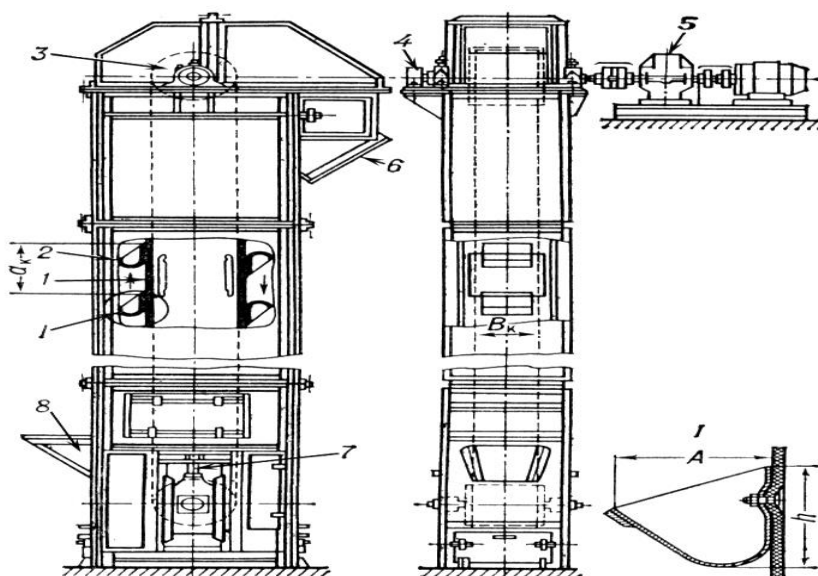
- NTsG tipidagi markazdan qochma-gravitatsion tushirish bilan (tasma tezligi 1,0 - 1,8 m/s) - un tegirmonlari va ozuqa zavodlari va urug'larni tozalash stantsiyalarida don va un mahsulotlari uchun ;

- markazdan qochma tushirish tipidagi NTs-1 bilan - (tasma tezligi 2,2 - 3,6 m/s) - elevatorlarda, quritish va tozalash minoralarida, don qabul qilish orxonalarida va yem tegirmonlarida aralash ozuqa uchun;

- markazdan qochma tushirish tipidagi NTs- 2 bilan - (tasma tezligi 3,8 - 4,0 m/s) - elevatorlarda namlik miqdori 17% gacha bo'lgan don uchun.

Noriyalarning keng qo'llanilishiga sabab, ular bir qator afzalliklarga ega. Xususan, konstruksiyasining soddaligi, kichik o'lchamlar, yuklarni katta balandlikka (50 - 70 m) yetkazib berish qobiliyati, katta mahsuldorlik diapazoni (soatiga 700 m³ gacha) kabi afzalliklarga ega. Shu bilan birga ular kamchilklardan xoli emas. Bunga misol qilib tasmadagi yuklamaning doimiy bir xil emasligi, tasma uzilishlarining ro'y berishi, ayniqsa, ortiqcha yukda sezgirlik va materialni bir xil yetkazib berish jarayonidagi muammolarni keltirishimiz mumkin.

Metodologiya. Ushbu tadqiqotda un ishlab chiqarish korxonalarida vertikal tasmali konveyerlar elektr yuritmalari tahlil qilindi.



1 – rasm. Vertikal tasmali konveyer (Noriya): 1 - tortuvchi tasma; 2 - chelaklar; 3 - yuritma barabani; 4 - to'xtatish mexanizmi; 5 - yuritma; 6 - tushirish trubkasi; 7 - tasma cho'zilishini nazorat qilish mexanizmi; 8 - yuklash trubkasi

Hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar quyidagilar [3,6]: Ishlab chiqarish miqdori Q_i , tonna/soat; donning hajmli massasi ρ_m , kg/m^3 ; yuklash turi (tasma yo'nalishiga qarshi yoki yo'nalish bo'ylab); ko'tarish balandligi H , m.

Dastlabki hisoblashlarda chelaklar turi tanlanadi, ular uchun 1 m tasmaga chelaklarning sig'imi i/a berilgan unumdorlikdan kelib chiqqan holda quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\frac{i}{a} = \frac{Q_i}{3,6v\rho_m\psi^2} \quad (1)$$

bu yerda, v – tasmaning tezligi; ψ – chelakning to'lish koeffitsiyenti.

a / i nisbat noriya chelaklarining chiziqli sig'imi deb ataladi. Shuni ta'kidlash kerakki, ushbu bosqichda chelaklarning yuklanishi nominal bo'ladi, ya'ni quvvat zaxirasi hisob-kitobning o'ziga kiritilgan.

Tortish tasmalarning 1 metriga to'g'ri keladigan yukining massasi q , kg/m , quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$q = \frac{Q_i}{3,6v} \quad (2)$$

Dastlabki taxminiy quvvat P_{dast} (kVt) quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$P_{dast} = \frac{Q_p H}{367} \left(A_H + B_H \frac{q}{Q_i} + C_H \frac{v^2}{H} \right); \quad (3)$$

bu yerda, A_H , B_H , C_H – Noriya turiga qarab tanlanadigan koeffitsiyentlar.

Demak, yuqorida berilgan formulalar dvigatel quvvatini hamda chelaklar sonini aniqlash uchun asos bo'lar ekan.

Endi ushbu jarayonlarda energiya tejash bo'yicha holatni o'rganamiz. Taqqoslash uchun ikkita ma'lumotlar to'plami tanlangan: biri an'anaviy doimiy tezlikda ishlaydigan elektr yuritmalar, ikkinchisi chastota o'zgartirgichli elektr yuritma yordamida. Tadqiqot obyekti sifatida "Jizzax don mahsulotlari" AJ elevator noriyasidagi 45 kVt li asinxron elektr yuritma olingan.

Ushbu elektr yuritma 45 kVtli 4AM-200L - 4 markali quyidagi 1 – jadvalda berilgan xarakteristikalariga ega asinxron motor o'rnatilgan.

1 – jadval

Asinxron motor parametrlari

Nominal quvvati P (kVt)	Nominal kuchlanish U_n (Volt)	Nominal tok kuchi I_n (Amper)	FIK (%)	Ishga tushirish momenti karraliligi	Quvvat koeffitsiyenti $\cos\phi$	Ishga tushirish momenti karraliligi	Juft qutblar soni
45	380	83,6	90	1,5	0,89	2,4	2

Shuningdek, yuritma reduktori sifatida Motorvario B163UC rusumli reduktordan foydalanilmoqda. Ushbu reduktorning texnik ko'rsatgichlari quyidagi 2 – jadvalda keltirilgan.

2 – jadval

Reduktorning texnik ko'rsatgichlari

Reduktor rusumi	Valning diametri(mm)	Reduktor chiqishidagi aylanish momenti(Max)	Uzatish nisbati	
			Minimal	Maksimal
B163UC	100	13000	8,89	154,83



2– rasm. Motorvario tipidagi reduktorlar ko'rinishi

Dastlab ushbu elektr yuritmani tog'ridan to'g'ri ishga tushirish rejimida 2022 yilning 1 – mart sanasidan 31 – mart sanasigacha bo'lgan davrdagi energiya iste'molini tahlil qilamiz. 3 – jadvalda ushbu davrdagi energiya iste'moli holati keltirilgan.

3 – jadvaldan ko'rish mumkinki, oyning 4, 10, 21 – sanalarida Elevator vertikal tasmali konveyeri (Noriya)ning ishlashiga zarurat bo'lmagan, 3, 5, 11, 20, 22 – sanalarida bo'lsa sutkaning ma'lum qismida ish foyliyatida bo'lgan. Oyning qolgan kunlarida uzluksiz ishlagan. Oy davomidagi yuritmaning ishlash vaqti 619 soatni tashkil etdi hamda shu vaqt

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

oralig'ida 18086 kVt elektr energiya iste'mol qildi. Demak, o'rtacha quvvat iste'moli soatiga 29,5 kVtni tashkil etgan. Bu davrda vertikal tasmali konveyer orqali 50000 tonna don o'tkazildi.

3– jadval

Iste'mol ko'rsatgichlari

Sana	Motoring ishlash davomiyligi (soat)	Kunlik iste'mol qilingan quvvat, (kVt)	O'rtacha bir soatda iste'mol qilinga quvvat (kVt)	Motoring yuklanish koefitsiyenti(%)
01.03.2022	24	684	28,50	0,63333333
02.03.2022	24	655	27,29	0,60648148
03.03.2022	18	567	31,50	0,7
04.03.2022	0	0	0,00	0
05.03.2022	12	345	28,75	0,63888889
06.03.2022	24	576	24,00	0,53333333
07.03.2022	24	612	25,50	0,56666667
08.03.2022	24	690	28,75	0,63888889
09.03.2022	24	711	29,63	0,65833333
10.03.2022	0	0	0,00	0
11.03.2022	14	434	31,00	0,68888889
12.03.2022	24	745	31,04	0,68981481
13.03.2022	24	781	32,54	0,72314815
14.03.2022	24	602	25,08	0,55740741
15.03.2022	24	775	32,29	0,71759259
16.03.2022	24	634	26,42	0,58703704
17.03.2022	24	671	27,96	0,6212963
18.03.2022	24	654	27,25	0,60555556
19.03.2022	24	667	27,79	0,61759259
20.03.2022	10	354	35,40	0,78666667
21.03.2022	0	0	0,00	0
22.03.2022	13	473	36,38	0,80854701
23.03.2022	24	897	37,38	0,83055556
24.03.2022	24	769	32,04	0,71203704
25.03.2022	24	673	28,04	0,62314815
26.03.2022	24	615	25,63	0,56944444
27.03.2022	24	764	31,83	0,70740741
28.03.2022	24	659	27,46	0,61018519
29.03.2022	24	786	32,75	0,72777778
30.03.2022	24	662	27,58	0,61296296
31.03.2022	24	631	26,29	0,58425926
Jami	619	18086	29,5	0,6556

Dvigatelni yuklanish koefitsiyentini topish formulasi (4) ga ko'ra dvigatelni yuklanish koefitsiyentini hisoblanganda, uning ko'rsatgichi 0,6556 ekanligi ma'lum bo'ldi.

$$K_{yuk} = \frac{P_{ist}}{P_{nom}}. \quad (4)$$

Elektr yuritma motori nominal yuklamadan kichikroq yuklamda ishlaganda uning foydali ish koefitsiyenti ham kamayadi va quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_{nom}} - 1\right)\beta}; \quad (5)$$

bu yerda $\beta = \frac{\alpha}{K_{yuk} + K_{yuk}} + K_{yuk}$; η_{nom} – dvigatelning foydali ish koeffitsienti; α – asinxron dvigatellar uchun 0,5 dan 1 gacha oraliqdagi qiymatlarni qabul qiluvchi koeffitsiyent. Odatiy hisoblashlarda 0,75 qabul qilinadi.

Ushbu holat uchun η qiymatini hisoblasak 86,2 % ni tashkil etmoqda. Ya'ni dastlabki foydali ish koeffitsiyentiga ko'rsatgichiga nisbatan 13,8 % ga kamaygan. Motorning umumiy FIK si 90 % ekanligini hisobga olsak, uning 1 oy davomidagi o'rtacha FIK 77,58 % ni tashkil etgan. Demak bu o'z navbatida boshqa isroflarning ham olib kelganligini tasdiqlaydi.

4– jadval

Iste'mol ko'rsatgichlari

Sana	Motoring ishlash davomiyligi(soat)	Kunlik iste'mol qilingan quvvat(kVt)	O'rtacha bir soatda iste'mol qilinga quvvat(kVt)
01.05.2022	8	190	23,75
02.05.2022	24	451	18,79
03.05.2022	24	576	24,00
04.05.2022	24	542	22,58
05.05.2022	24	564	23,50
06.05.2022	24	523	21,79
07.05.2022	24	528	22,00
08.05.2022	24	587	24,46
09.05.2022	24	556	23,17
10.05.2022	24	668	27,83
11.05.2022	24	565	23,54
12.05.2022	24	597	24,88
13.05.2022	24	663	27,63
14.05.2022	24	775	32,29
15.05.2022	24	643	26,79
16.05.2022	24	523	21,79
17.05.2022	24	520	21,67
18.05.2022	24	582	24,25
19.05.2022	24	591	24,63
20.05.2022	0	0	0,00
21.05.2022	0	0	0,00
22.05.2022	18	473	26,28
23.05.2022	24	549	22,88
24.05.2022	24	562	23,42
25.05.2022	24	554	23,08
26.05.2022	24	532	22,17
27.05.2022	24	569	23,71
28.05.2022	24	572	23,83
29.05.2022	24	678	28,25
30.05.2022	24	657	27,38
31.05.2022	24	698	29,08
Jami	674	16488	24,46

Keyingi bosqichda ushbu elektr yuritmaga Altivar 320 rusumli chastota o'zgartirgichni boshqaruv tizimini joriy etildi. Tajriba jaryonini 2022 yilning 1 – may sanasidan 31 – may sanasigacha bo'lgan oraliqda amalga oshirildi. Natijalar 4 – jadvalda keltirilgan.

4 – jadvaldan ko'rish mumkinki, oyning 20, 21 – sanalarida Elevator vertikal tasmali konveyeri (Noriya)ning ishlashiga zarurat bo'lmagan, 1, 22 – sanalarida bo'lsa sutkaning ma'lum qismida ish foliyatida bo'lgan. Oyning qolgan kunlarida uzluksiz ishlagan. Oy davomidagi yuritmaning ishlash vaqti 674 soatni tashkil etdi hamda shu vaqt oralig'ida 16488 kVt elektr energiya iste'mol qildi. Demak, o'rtacha quvvat iste'moli soatiga 24,46 kVtni tashkil etgan. Bu davrda vertikal tasmali konveyer orqali 56000 tonna don o'tkazildi. Bundan xulosa qilish mumkinki mart va may oylaridagi elevatordanishlangan don miqdori farq qilmaydi. Shunday bo'lishiga qaramasdan, chastota o'zgartirgichli boshqaruv tizimidan foydalanilganda soatiga o'rtacha 5,04 kVtdan tejalmoqda yoki dastlabki ko'rsatgichga nisbatan 16,3% elektr energiya tejalmoqda.

Shuningdek, vertikal tasmali konveyerlardagi asinxron elektr yuritmalarda chastota o'zgartirgichning qo'llanilmasligi bir qator kamchiliklar va cheklovlarga olib kelishi mumkin[7,8]:

- o'zgarmas tezlik: CHO' bo'lmasa, vosita tezligi doimiy bo'lib qoladi. Bu ishlab chiqarish ehtiyojlariga yoki tashilayotgan yuk turiga qarab konveyer tezligini o'zgartirib bo'lmaydi degani;

- yuqori quvvat sarfi: O'zgarmas tezlik maksimal tezlik talab etilmagan hollarda ortiqcha quvvat sarfiga olib kelishi mumkin. Bu energiya xarajatlarini oshirishi va energiya samaradorligini kamaytirishga olib keladi;

- o'ta yuklanish: o'zgaruvchan tezlik va momentni nazorat qilmasdan, vosita va konveyer mexanizmlari, ayniqsa, ishga tushirish va to'xtash vaqtida aşınma o'ta yuklanishga duchor bo'lishi mumkin;

- elektr motor himoyasining cheklanganligi: CHO' yo'q bo'lganda, yuritma o'ta yuklanish va qisqa tutashuvlardan himoyalaniishi cheklangan bo'lishi mumkin, bu esa yuritma shikastlanishiga va ishlamay qolish vaqtini oshirishga olib kelishi mumkin;

- boshqaruv funksiyalari cheklanganligi: CHO' bo'lmasa, konveyerni boshqarish va avtomatlashtirish darajasi cheklangan bo'ladi. Tezlik, yo'nalish, silliq ishga tushirish va tormozlash nuqtai nazaridan uning ishlashini rostdash va optimallashtirish imkonsiz bo'lib qoladi;

- samaradorlikni kamayishi: Vertikal konveyerlar turli vaqtlarda turli xil yuklarga ega bo'lishi mumkin. Tezlikni o'zgartirish imkoniyati bo'lmasa, konveyer samarasiz ishlashi va energiyani isrof qilishi mumkin.

Chastotani o'zgartirgichdan foydalanish ushbu kamchiliklarning ko'pchiligini bartaraf etadi, tezlik va momentni nazorat qilishda moslashuvchanlikni ta'minlaydi, samaradorlikni oshiradi va vertikal konveyer ishlashining ishonchliligini oshiradi.

Natijalar. O'tkazilgan tadqiqotlar asosida quyidagi natijalarga erishildi:

1. Chastotani o'zgartirgichlardan foydalanish un ishlab chiqarish korxonalarida vertikal tasmali konveyerlarida elektr yuritmalarning energiya sarfini 16,3 % ga kamaytirish mumkinligi hisoblandi

2. Chastotani o'zgartirgichlardan foydalanish vertikal tarmoqli konveyerlarning ish faoliyatini sezilarli darajada yaxshilaydi, aniqroq va moslashuvchan tezlikni nazorat qilishni ta'minlaydi [9].

3. Chastotani o'zgartirgichlar bilan jihozlangan uskunaning texnik holati yaxshilandi, chunki elektr motorlariga yukni kamaytirish, eskirishni kamaytiradi va uskunaning ishlash muddatini oshiradi.

Xulosa. Un ishlab chiqarish korxonalarida vertikal tasmali konveyerlarning elektr yuritmalari uchun chastota o'zgartirgichlaridan foydalanish energiya sarfini kamaytirish, mehnat unumdorligini oshirish va jihozlarning texnik holatini yaxshilashga qaratilgan samarali chora ekanligi asoslandi. Ushbu o'zgarishlar korxonalarining iqtisodiy foydasiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi va un ishlab chiqarishning barqaror rivojlanishiga yordam berishi mumkin.

Adabiyot

1. Дмитриева В.В., Собянин А.А., Сизин П.Е. Моделирование плавного пуска для асинхронного двигателя ленточного конвейера //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №. 6. – С. 77-92.

2. Nurali Pirmatov, Uchkun Mirzaev. Ways to Improve the Energy Efficiency of an Electric Drive with Asynchronous Motors // International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) ISSN (2021): 230-233.

3. Bellure, Anand, and M.S. Aspalli. Dynamic dq model of induction motor using simulink. // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) 24.5 (2015): 252-257.

4. Liu, Yupeng. Induction Machine Modeling and Emulation for Asymmetrical Conditions. // Diss. Concordia University, 2022.

5. Ma, Wenzhong, and Lianping Bai. Energy-Saving Principles and Technologies for Induction Motors. // Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018.

6. Duvlonov Jaloliddin. Analysis Of Frequency Control Systems For Asynchronous Electric Drive. // International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) ISSN (2021): 102-104.

7. Pirmatov Nurali Berdiyrovich, Abdiev Orifjon Xofizovich, and Xoliqulov Doniyor Vaxtiyorovich. Topical conveyors are mathematical models of asynchronous motors. // European science review 9-10-1 (2018): 228-230.

8. Mirzaev Uchkun and Hiloliddinov Diyor. Methodology Of Energy Audit In Uzbekistan. //International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) ISSN (2021): 197-199.

9. Миронов Л.М., Сафонов Ю.М. Статика и динамика электротехнических систем. - М.:Изд. МЭИ, 2000. -52 с.

*Toshkent davlat texnika universiteti
tomonidan taqdim etilgan*

УДК 621.331

**ҚАЙТА ТИКЛАНДИГАН ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИДАН ФОЙДАЛАНГАН
ХОЛДА, ДИФФЕРЕНЦИАЛЛАШГАН ТАРИФЛАРГА УЛАНГАН
ИСТЕЪМОЛЧИЛАР САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

М.К. Бобожанов, Ю.О. Очилов

Кўпгина қайта тикландиган энергия манбалари барқарор бўлсада, баъзилари барқарор эмас. Мақолада қайта тикландиган энергия манбалари, табиий равишда тўлдириладиган қайта тикландиган манбалар, тўпланган энергия, қуёш нури, шамол, сув ҳаракати, геотермал иссиқлик, иссиқлик манбалари каби термин ва кўрсаткичлар келтирилган. Қайта тикландиган энергия манбаларидан фойдаланиш тақсимловчи трансформаторларга тушадиган ўта юкланиш ҳолатини олдини олишга хизмат қилиш билан биргаликда, электр юклама графикларини текислашга ҳам ёрдам беради. Ушбу мақолада қайта тикландиган энергия манбалари билан таъминландиган энергетика тизимига тарифларни такомиллаштириши, ишлаб чиқариш корхоналари ва аҳоли турар жойлари электр энергия истеъмол даврлари “пик”, “ярим пик” ва “тунги” даврларидаги талаб кўрсаткичларини ўзгартириши имкониятларини баҳолаш ҳақида сўз юритилади.

Калит сўзлар: геотермал иссиқлик, сув ҳаракати, энергия тежовчи технология, фото электр станциялар.

Хотя большинство возобновляемых источников энергии устойчивы, некоторые из них нестабильны. В статье перечислены такие термины и показатели, как возобновляемые источники энергии, возобновляемые источники, которые пополняются естественным путем, накопленная энергия, солнечный свет, ветер, движение воды, геотермальное тепло, источники тепла. Использование возобновляемых источников энергии не только предотвращает перегрузку распределительных трансформаторов, но и помогает сгладить графики электрических нагрузок. В данной статье речь пойдет о совершенствовании тарифов на энергосистему, обеспечиваемую возобновляемыми источниками энергии, оценке возможностей изменения показателей спроса производственных предприятий и жилых помещений в периоды “пикового”, “полупикового” и “ночного” периодов потребления электроэнергии.

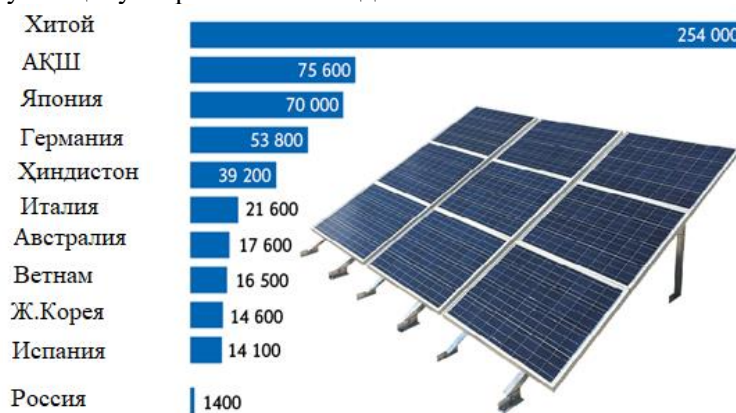
Ключевые слова: геотермальное тепло, движение воды, энергосберегающие технологии, фотоэлектрические установки.

While most renewable energy sources are stable, some are not. The article lists terms and indicators such as renewable energy sources, naturally rechargeable renewable sources, accumulated energy, sunlight, wind, water movement, geothermal heat, heat sources. The use of renewable energy sources, in combination with serving to prevent the supercharging state that falls on the distribution transformers, also helps to align the

electrical charge graphs. This article will talk about improving tariffs for the energy system supplied with renewable energy sources, assessing the possibilities of changing demand indicators in the periods of electricity consumption of production enterprises and residential areas “peak”, “half peak” and “night”.

Key words: geothermal heat, water movement, energy saving technology, photoelectric plants.

2011-йилдан 2021-йилгача қайта тикланадиган энергия глобал электр таъминоти тизимида 20 % дан 28 % гача ўсди. Қазилма энергия 68 % дан 62 % гача, ядровий энергия эса 12 % дан 10 % гача қисқарди. Гидроэнергетиканинг улуши 16 % дан 15 % гача камайди, қуёш ва шамол энергияси эса 2 % дан 10 % гача ошди. Биомасса ва геотермал энергия 2 % дан 3 % гача ўсди. 135 та давлатда 3146 гигаваттлар ўрнатилган бўлса, 156 та давлат қайта тикланадиган энергия соҳасини тартибга солувчи қонунларни ишлаб чиққан.



1-расм. Дунё мамлакатларида қуёш панелларидан фойдаланиш кўрсаткичлари

Бирлашган Миллатлар Ташкилотининг иқлим ўзгариши тўғрисидаги конвенцияси “Париж битими” қабул қилиниб, унга дунёнинг 193 та мамлакатлари, шу жумладан Ўзбекистон Республикаси ҳам аъзо бўлгандир. Ўзбекистон Республикаси “Париж битими” мажбуриятларини бажариш доирасида, мамлакатимиз Президенти Ш.М. Мирзиёев 10.04.2019 даги “2019 — 2030-йиллар даврида Ўзбекистон Республикасининг яшил иқтисодиётга ўтиш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида” қароридан келиб чиқади.

Электр энергиясига бўлган талаб кун сайин ортиб бормоқда, бу эса энергия ресурсларидан самарали фойдаланишни ва қайта тикланадиган энергия манбаларадан фойдаланишни тақазо қилмоқда. Қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш тақсимловчи трансформаторларга тушадиган ўта юкланиш ҳолатини олдини олишга ҳизмат қилиш билан биргаликда, электр юклама графикларини текислашга ҳам ёрдам беради.

Қуёш фото электр стансиялари сонини кўпайтириш бугунги кунда электр энергетикаси соҳаси олдида турган долзарб масалалардан биридир. Чунки вақт ҳткан

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

сайин электр энергиясига бўлган талаб ошиб бораётганлиги ва бундан ташқари ан-анавий энергия манбаъларининг тугаб бораётганлиги бунинг яққол исботидир. Куёш фото электр станцияларининг фойдали иш коэффитциентини ошириш, яъни куннинг исталган пайтида куёш энергиясини мукамал даражада электр энергиясига айлантириш ва бундан ташқари, энергетика тизими самарадорлигини ошириш электр таъминоти системасига зарурий чора тадбирларни ишлаб чиқишни тақазо қилади. Куёш фото электр станциялари асосан куннинг эрталаб 08:00 дан кеч соат 18:00 гача бўлган вақтларида актив ҳолатда бўлади. 1-жадвалда куёш панелларининг асосий техник кўрсаткичлари ҳақида маълумотлар келтирилган.

1-жадвал

Куёш панелларининг асосий техник кўрсаткичлари

Т/р	Вақт	Ташқи хаво ҳарорати, $t_{\text{тх}}, ^\circ\text{C}$	Куёш панели корпуси ҳарорати, $t_{\text{п.кор}}, ^\circ\text{C}$	Куёш панелнинг умумий (апертура)юзаси, $F, \text{м}^2$	Ишлаб чиқарилган электр қувват, $P_{\text{эл}}, \text{Вт}$	Ф.И.К $\eta = \frac{P_{\text{эл}}}{Q_p}, \%$
1	8:00	24	36,06	60	34,2	22,8
2	9:00	28	42,08	60	64,2	42,8
3	10:00	32	53,48	60	90,6	60,4
4	11:00	35	60,19	60	107,4	71,6
5	12:00	37	64,71	60	117,6	78,4
6	13:00	38	66,72	60	120,3	80,2
7	14:00	39	60,89	60	111,6	74,4
8	15:00	39	59,71	60	99,3	66,2
9	16:00	38	58,61	60	79,2	52,8
10	17:00	37	52,08	60	42,6	28,4
11	18:00	35	41,02	60	11,4	7,6
Ўртача киймат		34,73	54,14	60	79,8	53,2

Аҳоли электр энергияси истеъмолчилари истеъмол кўрсаткичлари сутканинг эрталабки ва кечки тигиз даврларида максимал, куннинг асосий қисмида яъни 09:00 дан 17:00 гача ўртача ва тунда 22:00 дан 06:00 гача минимал кўрсаткичларда истеъмол қилади.

2-жадвал

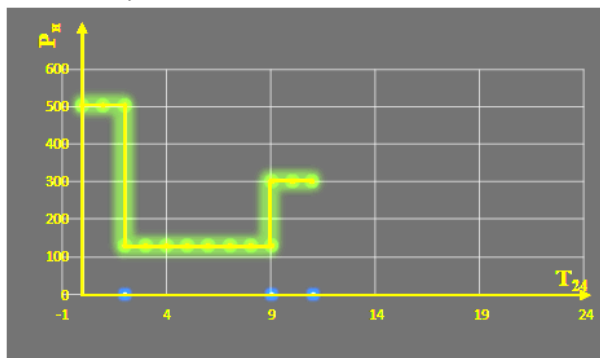
Қарши шаҳар “Чўлқувар” маҳалласи аҳолисининг электр энергияси истеъмоли

Т/р	Сутка даврлари	Вақт	Даврдаги истеъмол қуввати кВт	Кундузги умумий истеъмол, кВт	Умумий истеъмолга нисбатан улуши %
1	2-давр (пик вақт)	8:00	504	2508	20,1
2		9:00	504		20,1
3	3-давр (кундузги)	10:00	128		5,1
4		11:00	128		5,1
5		12:00	128		5,1
6		13:00	128		5,1
7		14:00	128		5,1
8		15:00	128		5,1
9		16:00	128		5,1
10	4-давр (пик вақт)	17:00	302		12,04
11		18:00	302		12,04

Истеъмолнинг кўрсаткичларини қайта тикланувчи энергия манбалари ишлаб турган давр бўйича мутаносиблигини кўриб чиқамиз. Куннинг қайси вақтларида қайта тикланувчи энергия манбалари орқали ишлаб чиқарилган электр энергияси электр юклама графикларига қандай таъсир қилинишини таҳлил қиламиз. 2-жадвалда Қарши шаҳар “Чўлқувар” маҳалласи аҳолисининг электр энергияси истеъмоли тўғрисида маълумот келтирилган.

Маълумотлар “Худудий электр тармоқлари” АЖ Қашқадарё худудий филиалининг ЭЭНХАТ тизими орқали олинган.

2-жадвалдаги кўрсаткичлар орқали электр юклама графиги чизилганда куйидагича кўринишга эга бўлинди.



2-расм. Кундузги вақтларга нисбатан электр энергия истеъмоли юклама графиги

Расмдан кўришиб турибдики куннинг бошланиш вақтида 07:00 дан 09:00 гача вақт оралиғида электр энергиясига бўлган талаб жуда юқори, 09 дан 16:00 гача бўлган даврда минимал даражага яқинлашган, 16:00 дан 18:00 гача эса яна талабнинг ортганлигини кўришингиз мумкин.

Истеъмолчиларни ишончли электр энергияси билан таъминлаш, истеъмолнинг пик даврларида энергетика тизимида қўшимча энергия етказиб бериш учун 30 дона 5 кВт лик қуёш панелларини ўрнатилса мақсадга мувофиқ бўлади. Чўлқувар маҳалласига ўрнатилган қуввати 630 кВА бўлган трансформатор потстанцияси истеъмолчиларининг электр юклама графикларини текислаш мақсадида қуёш панелларининг энергиясидан фойдаланамиз. 3 - жадвалда куннинг 07:00 дан 18:00 гача бўлган қисмида қуёш панелларидан олинаётган қувват ва аҳоли истеъмол қиладиган қувватлар тақсимоли келтирилган.

3-жадвалдан кўришиб турибдики қуёш панеллари куннинг иккинчи яримида асосан 12:00 дан 15:00 гача бўлган даврда яхши фойдали иш коэффициентини билан ишлайди бу эса энергияга бўлган талабнинг минимал ҳолатларида энергия тизимидан кўп қувват талаб қилинмаслигидан далолат беради. Юқоридаги жадвалда топилган натижаларга асослашиб сутканинг кундузги даврларидаги энергия тизимидан олинадиган қувватларни ҳисоблаб олинади. 4-жадвалда энергия тизимидан истеъмолчилар истеъмол қиладиган электр энергиясини топиш ҳисоби келтирилган.

3-жадвал

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Т/р	Сутка даврлари	Вақт	Аҳоли истеъмол қуввати кВт	Қуёш панеллари ишлаб чиқарадиган қувват кВт
1	2-давр (пик вақт)	8:00	504	34,2
2		9:00	504	64,2
3	3-давр (кундузги)	10:00	128	90,6
4		11:00	128	107,4
5		12:00	128	117,6
6		13:00	128	120,3
7		14:00	128	111,6
8		15:00	128	99,3
9		16:00	128	79,2
10	4-давр (пик вақт)	17:00	302	42,6
11		18:00	302	11,4

$$P_{\text{фарқ1}} = P_{\text{тизим1}} - P_{\text{қуёш1}} = 504 - 34,2 = 469,8 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ2}} = P_{\text{тизим2}} - P_{\text{қуёш2}} = 504 - 64,2 = 439,8 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ3}} = P_{\text{тизим3}} - P_{\text{қуёш3}} = 128 - 90,6 = 37,4 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ4}} = P_{\text{тизим4}} - P_{\text{қуёш4}} = 128 - 107,4 = 20,6 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ5}} = P_{\text{тизим5}} - P_{\text{қуёш5}} = 128 - 117,6 = 10,4 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ6}} = P_{\text{тизим6}} - P_{\text{қуёш6}} = 128 - 120,3 = 7,7 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ7}} = P_{\text{тизим7}} - P_{\text{қуёш7}} = 128 - 111,6 = 16,4 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ8}} = P_{\text{тизим8}} - P_{\text{қуёш8}} = 128 - 99,2 = 28,8 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ9}} = P_{\text{тизим9}} - P_{\text{қуёш9}} = 128 - 79,3 = 48,7 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ10}} = P_{\text{тизим10}} - P_{\text{қуёш10}} = 302 - 42,6 = 222,8 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{фарқ11}} = P_{\text{тизим11}} - P_{\text{қуёш11}} = 302 - 11,4 = 290,6 \text{ кВт}$$

Демак, электр энергияси истеъмолчиларининг энергия тизимидан кундузги вақтларда истеъмол қиладиган умумий актив қувватни топиш қуйидаги 4.1-формула орқали амалга оширилади:

$$P_{\text{жами}} = P_{\text{фарқ1}} + P_{\text{фарқ2}} + P_{\text{фарқ3}} + P_{\text{фарқ4}} + P_{\text{фарқ5}} + P_{\text{фарқ6}} + P_{\text{фарқ7}} + P_{\text{фарқ8}} + P_{\text{фарқ9}} + P_{\text{фарқ10}} + P_{\text{фарқ11}} \quad (1)$$

Бу ерда $P_{\text{жами}}$ - энергия тизимидан 08 дан 18 гача вақт оралиғида истеъмол қилинадиган қувват, кВт:

$$\begin{aligned} P_{\text{жами}} &= P_{\text{фарқ1}} + P_{\text{фарқ2}} + P_{\text{фарқ3}} + P_{\text{фарқ4}} + P_{\text{фарқ5}} + P_{\text{фарқ6}} + P_{\text{фарқ7}} + P_{\text{фарқ8}} \\ &\quad + P_{\text{фарқ9}} + P_{\text{фарқ10}} + P_{\text{фарқ11}} = \\ &= 469,8 + 439,8 + 37,4 + 20,6 + 10,4 + 7,7 + 16,4 + 28,8 + 48,7 \\ &\quad + 222,8 + 290,6 = 1593 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Ҳисоблашлар натижаси шуни кўрсатдики 30та 5 кВт лик қуёш панеллари ўрнатилса 1 та қуввати 30 кВА бўлган трансформатор истеъмолчилари бўйича энергия тизимдан истеъмол қилинадиган қувват 2508 кВт дан 1593 кВт га пасайди.

Агар ҚТЭМ дан фойдаланиш кўрсаткичи янада оширилса натижа ўзгариш даражаси янада ортади.

Ўзбекистон Энергетика соҳасида 2030-йилгача бўлган даврда электр энергияси истеъмолининг йиллик ўсишини 6-7 % га, ишлаб чиқариш ҳажмини эса 75 % га, яъни 69млрд.кВт·соатдан 121 млрд. кВт·соатгача ортириш ва бу вазифани амалга оширишда асосий йўналишларидан бири энергия ресурсларини ўзлаштириш, яъни ҚТЭМ дан фойдаланиш салмоғини кенгайтириш орқали амалга ошириш ҳисобланади. Ҳозирги вақтда асосий ижтимоий вазифаларидан бири республикамиз қишлоқ ҳудудлари, айниқса, марказлашмаган электр таъминоти ҳудудларида жойлашган истеъмолчиларни электр энергияси билан ишончли даражада таъминлашдан иборат. Кичик қувватдаги ҚТЭМ асосидаги энергетик қурилмаларни ишлаб чиқаришни рағбатлантириш бўйича илғор хорижий тажрибаларни умумлаштирган ҳолда, қишлоқ ҳудудларини ижтимоий-иқтисодий ривожлантириш мақсадида, Ўзбекистоннинг марказлашмаган электр таъминоти ҳудудларида кичик қувватли ҚТЭМ асосидаги КЭҚдан самарали фойдаланиш учун уларнинг параметрларини танлаш ва асослаш муҳим ҳисобланади.

Хулоса. Республикамиздаги электр энергияси истеъмолчилари электр юклама графиклари бугунги кундаги ҳолати таҳлил қилинди,

- қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланилган ҳолатда энергия самарадорлиги ошиши мумкинлиги аниқланди,

- сутканинг пик даврларида қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланилса тақсимловчи трансформаторларга тушадиган ўта юкланиш ҳолати камайиши мумкинлиги баҳоланди,

Истеъмолчиларнинг сутканинг ПИК вақтларидаги электр энергиясига бўлган талаблари кўрсаткичлари ўзгартирилса тақсимловчи трансформаторлардаги энергия исрофи камайиши исботланди.

Адабиёт

1. Bobojanov M.K., Ochilov Y.O. Theoretical aspects in the formation of pedagogical, 2023 “A complete analysis of the module program to assess the reduction of electricity emissions in distribution transformers with extensive use of the differential tariff system”.

2. Fayziyev M., Ochilov Y., Nimatov K., Mustayev R. - E3S Web of Conferences, 2023 Analysis of payment priority for electricity consumed in industrial enterprises on the base of classified tariffs.

3. Муратов Х.М, Кадиров К.Ш. Дифференцированный тариф на электроэнергию в Узбекистане: предпосылки и перспективы внедрения // Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси, Ўзбекистон алоқа ва ахборотлаштириш агентлиги, // Информатика ва Энергетика муаммолари Ўзбекистон журнали. 2014 йил, №1-2, 85-88 бет.

4. Кадиров К.Ш. Снижение инвестиций на освоение генерирующей мощности при применении дифференцированного тарифа на электроэнергию // Ўзбекистон

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Республикаси Фанлар Академияси, Ўзбекистон алоқа ва ахборотлаштириш агентлиги, // Информатика ва нергетика муаммолари Ўзбекистон журнали. 2014 йил, №6, 93-97 бет.

5. Fayziyev M., Bobojanov M., Ochilov Y. - Innovatsion texnologiyalar, 2022 “Elektr energiya uchun to‘lovlarni tabaqalashtirilgan tariflar asosida to‘lash samaradorligining tahlili.

6. Бобожанов М.К., Очилов Ю.О. // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари, Электр энергиясининг табақалаштирилган тарифларини аҳоли турар жой бинолари учун қўллаш Тошкент/ /256-260 бетлар/2022 (махсус сон №83) <https://drive.google.com/drive/folders/1YalW6rHRx4g5odFXI7vz4Sa5rv2LbjRG>

7. Файзиев М.М., Бобожанов М.К., Очилов Ю.О. конференция «INNOVATION TECHNOLOGIYALAR» «Elektr energiya uchun to‘lovlarni tabaqalashtirilgan tariflar asosida to‘lash samaradorligining tahlili» Qarshi/“INNOVATION TECHNOLOGIYALAR”/7-10 betlar / sentyabr/2022 (maxsus son) <https://drive.google.com/drive/my-drive>.

8. Fayziyev M., Tuychiev F., Mustayev R., Ochilov Y. - E3S Web of Conferences, 2023 Development and research of non-contact starting devices for electric consumers and motors.

9. Bobojanov M.. Development and Research of Two Speed Motor with Pole-Changing Winding. AIP Conference Proceedings 2552, 050034, (2023), <https://doi.org/10.1063/5.0114077>.

10. Bobojanov M.K., Karimov R.Ch., Qosimov T.H., Dzhuraev S.D.Zh.. Development and experimental study of circuits of contactless device for automation of compensation of reactive power of capacitor batteries. E3S Web of Conferences, 289, 07012, (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907012>.

*Тошкент давлат техника университети ва Қариши муҳандислик
иқтисодиёт институтлари томонидан тақдим этилган*

УДК 620.98

**ГИБРИДНАЯ МОБИЛЬНАЯ СОЛНЕЧНО-ТОПЛИВНАЯ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ**

**Н.Р. Авезова, А.М. Мирзабаев, Н.А. Матчанов, Н.Н. Далмурадова,
М.Б. Шерматова**

Мақолада, жаҳон тажрибасир ва илмий ёндашувга асосланган ечимларни умумлаштириши орқали, марказлаштирилган энергия таъминотидан олисда жойлашган ҳудудларда қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энергия тизимларидан самарали фойдаланиши имконияти ўрғанилган, хусусан, Қорақалпоғистон Республикаси, Судочье, Урга посёлкасида (43,53 °N, 58,52 °E) истиқомат қилувчи, 4 кишидан иборат оила мисолида индивидуал истеъмолчининг энг муҳим ҳаётий эҳтиёжларини таъминлаш учун автоматлаштирилган энергия режимлари бошқарувига эга гибрид мобил қуёш-ёқилгили электр станциясини ишлаб чиқиши ва яратилиши бўйича тадқиқот натижалари тақдим этилган. Шунингдек, тадқиқот доирасида Ўзбекистон Республикаси ҳудудларида қуёш нурланишининг интенсивлиги ва қуёш нурлари соатларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган қурилмадан фойдаланишининг техник салоҳиятини баҳолаш дастури ишлаб чиқилган.

***Калит сўзлар:** гибрид мобил қуёш ёқилгили электр станцияси, автоматлаштирилган энергия режимлари бошқаруви, узлуксиз энергия таъминоти, қуёш энергиясининг техник салоҳияти, ақилли датчиклар, қуёш нурланиши интенсивлиги.*

В статье, путем обобщения опыта и научного поиска, изучена возможность эффективного применения энергосистем на основе ВИЭ в регионах отдаленных от централизованного энергоснабжения, в частности, представлены результаты исследований по разработке и созданию гибридной мобильной солнечно-топливной электростанции с автоматизированным управлением режимами энергопотребления для обеспечения первичных жизненных нужд индивидуального пользователя – семьи из четырех человек, находящейся в поселке Урга, Судочье, Республика Каракалпакстан (43,53° N, 58,52°E). В рамках также исследования разработана программа, позволяющая оценить технический потенциал использования солнечной части разработанной установки с учетом интенсивности солнечной радиации и периода солнечного сияния в регионах Республики Узбекистан.

***Ключевые слова:** гибридная мобильная солнечно-топливная электростанция, автоматизированное управление режимами энергопотребления абонента, непрерывное энергоснабжение, технический потенциал солнечной энергии, умные датчики, интенсивность солнечного излучения.*

In this paper, by generalizing experiments and scientific solutions, the possibility of effective use of renewable energy systems in regions remote from centralized power supply is studied, in particular, the results of research on the development and creation of a hybrid mobile solar-fuel power plant with automated control of energy consumption modes to meet the primary vital needs of an individual user – a family of four, located in the village of Urga, Sudochoye, Republic of Karakalpakstan (43.53° N, 58.52°E). Also, within the framework of the study, a program has been developed that allows assessing the technical potential of using the PV part of the developed installation, taking into account the intensity of solar radiation and the hours of sunshine in the regions of the Republic of Uzbekistan.

Keywords: *Hybrid mobile solar-fuel power plant, automated control of subscriber's energy consumption modes, continuous power supply, technical potential of solar energy, smart sensors, solar radiation intensity.*

Введение. В условиях стремительного развития технологий и повышенного интереса к устойчивым источникам энергии, вопросы обеспечения бесперебойности энергоснабжения становятся актуальными и ключевыми в контексте современной энергетики. Этот интерес усиливается, особенно при рассмотрении потребностей индивидуальных пользователей, расположенных в отдаленных от централизованного энергоснабжения регионах страны [1-2].

С учетом вышеуказанного, актуальной является оценка эффективности использования энергосистем на основе ВИЭ с высоким уровнем отказоустойчивости, энергетической самостоятельностью, что способствует улучшению энергетической инфраструктуры [3-5].

Основная часть. В целях изучения возможности эффективного применения энергосистем на основе ВИЭ в регионах, отдаленных от централизованного энергоснабжения, в работе исследован вопрос энергообеспечения первичных жизненных нужд семьи из четырех человек, находящейся в поселке Урга, Судочье, Республика Каракалпакстан (43,53° N, 58,52°E). В табл. 1 представлены параметры энергопотребления выбранного абонента для обеспечения минимальных жизненных нужд, откуда видно, что энергопотребление объекта составляет 9,146 kW·h в сутки, 3338,29 kW·h в год.

Для обеспечения данного значения энергопотребления выбранного абонента, авторами разработана многофункциональная гибридная мобильная солнечно-топливная электростанция усовершенствованной конструкции, и с автоматизированным управлением режимами энергопотребления (далее – ГМСТЭ), дающая возможность подключаться по отдельности к каждой системе снабжения – электро-, тепло, водоснабжения и одновременное пользование всеми системами [6].

ГМСТЭ состоит (рис.1,а-г) из шести прямоугольных ФЭП (1) размещенных на удобной выдвижной, складывающейся раме (2), которая имеет ролики 15 и содержит на задней стороне под ФЭП два АБ (3), гибридный солнечный инвертор (4), насос (5) для выкачивания воды, комплект опреснительной установки (6), дизельный генератор ДГ (7), которые установлены на подставке (8) металлической рамы. Также имеется мобильное приложение, связанное с интернетом, и вся конструкция может

перемещаться на колесах (9) с помощью автоприцепа (10), выполненного на задней нижней стороне рамы установки; также на корпусе рамы имеются 4 опорных металлических складывающихся ножек (11), предназначенных для равномерного удерживания боковых ФЭП при раскрытии панелей, также имеются крепежные элементы (12) для прочности конструкции, ходовую часть (13) для перемещения, опорную стойку автоприцепа (14). Электрические кабели (17) соединяются с щитом (16) при установке всей электростанции. Устройство управляется дистанционно с помощью мобильного приложения и SIM-карты, подключенной к Интернет [6].

Таблица 1

Параметры энергопотребления абонента

№	Электро технические приборы	Мощность (W)	Количество	Суммарная мощность (W)	Часы работы с фиксированным интервалом				$\sum t$, ч в день	Потреб- ление, kW·h в день
					(0- 6)	(6- 12)	(12- 18)	(18- 24)		
1	LED лампочки	15	4	60	0	2	0	5	7	0,42
2	TV, ARTEL 32"	130	1	130	0	2	0	2	4	0,52
3	Холодильник ARTEL HS-117RN 90L	45	1	45	2	2	2	2	8	0,36
4	Накопительный водонагреватель Ariston ANDRIS LUX 30 литров	1000	1	1000	0	1	1	1	3	3,0
5	Миникондиционер Vitek VT-1926	500	1	55	3	2	3	2	10	5,0
6	Отпариватель для одежды Grunhelm GHS-1006	1000	1	1000	0	0	0,5	0,5	1	1
7	Опреснитель	14,4	1	14,4	0	2	3	2	7	0,101
8	Насосная станция DEKO DKJP800	800	1	800	0	1	0	0	1	0,8
	Всего:	3504,4	11	3549,4	5	12	8,5	14,5	40	9,146

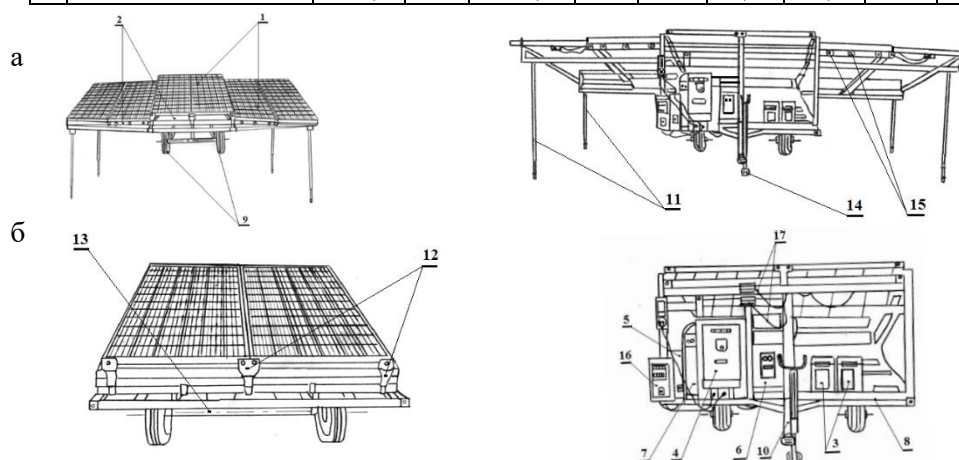


Рис. 1. Общий вид ГМСТЭ с тыльной (а) стороны, с фронтальной (б) стороны

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ



Рис. 1. Продолжение Общий вид ГМСТЭ в развернутом состоянии (в) фронтальной и тыльной (в) стороны, общий вид в собранном (г) состоянии гибридной мобильной солнечно-топливной электростанции с автоматизированным управлением режимами энергопотребления [6]

На рис.2 и рис.3 представлены структурная и электрическая схемы подключения разработанной ГМСТЭ, соответственно.

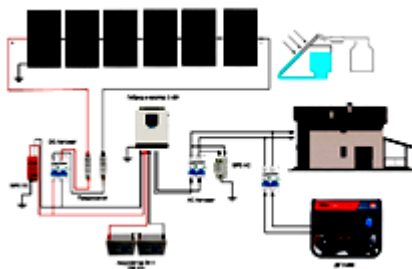


Рис. 2. Структурная схема ГМСТЭ с автоматизированным управлением режимами энергопотребления [6]

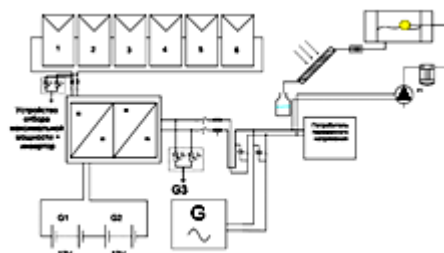


Рис. 3. Электрическая схема подключения ГМСТЭ с автоматизированным управлением режимами энергопотребления [6]

Исходные параметры разработанной установки приведены в табл. 2. Показатели параметров составляющих компонентов ГМСТЭ выбраны с учетом обеспечения энергопотребления абонента, равному $9,146 \text{ kW}\cdot\text{h}$ в сутки, учитывающие минимальные жизненные нужды семьи из четырех человек, согласно нормативам.

Разработанная ГМСТЭ отличается от существующих аналогов [7-8] по конструктивным решениям (компактность), гибридность и высокой отказоустойчивостью, которая обеспечивается наличием АКБ и дизельного генератора (при недостаточности плотности СИ, ниже $125 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ в день подключается ДГ), а также рациональными параметрами автоматизированного управления режимами энергопотребления абонента (рис.4) согласно нормативам, на основе умных датчиков АТОН-11, датчиков напряжения (VCR01) и тока класса защиты (IP40).

С целью определения технического потенциала ГМСТЭ в различных регионах РУЗ, авторами разработана “Программа для определения показателей оценки эффективного применения солнечных энергетических установок на территории РУЗ” [9].

Анализ проводится на основе данных о валовом и техническом потенциале СЭ на территории всей страны, что позволяет возможности применения солнечных энергетических установок, в частности разработанного нами ГМСТЭ в конкретном регионе.

В ходе анализа рассчитываются следующие параметры: математическое ожидание, среднеквадратическая ошибка, синусоидальности формы и другие, а также процентные показатели суммарного, прямого и диффузного СИ.

При расчете вышеуказанных величин использованы методики, предложенные Дж. Даффи, У. Бекманом [10]. Для выбранного дня сумма излучения, поступающего на наклонную поверхность, может быть записана как:

$$H_T = (H - H_d)\bar{R}_b + H_d \left(\frac{1 + \cos\alpha}{2} \right) + H\rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right). \quad (1)$$

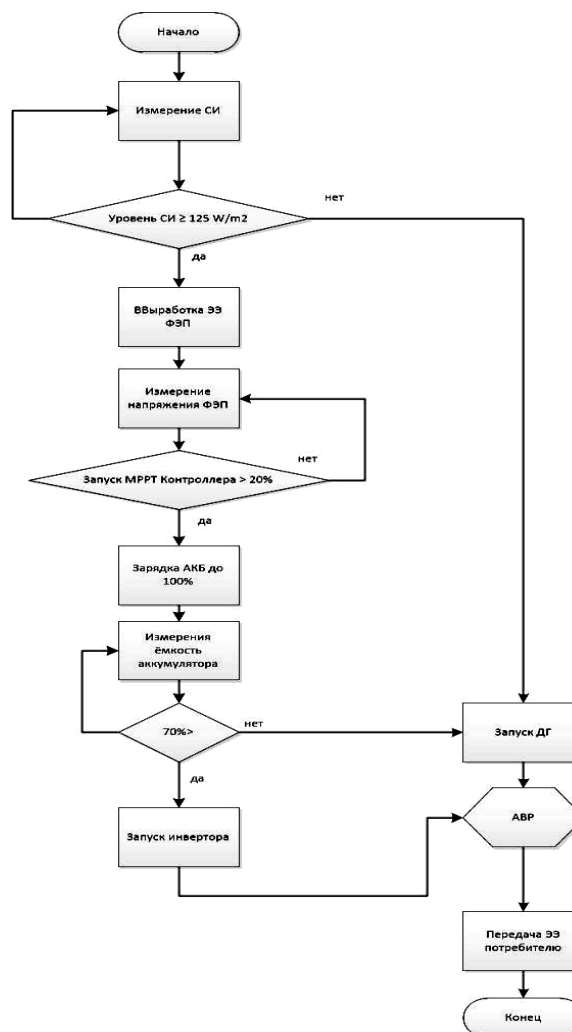


Рис.4. Алгоритм оптимального управления выработкой ЭЭ ГМСТЭ для обеспечения энергопотребления абонента

Таблица 2

Исходные параметры разработанной ГМСТЭ [6]

Параметры ФЭМ	Monocrystalline Silicon jinko solar tiger neo n-type 600w
Номинальная мощность ФЭМ, W	600 W
Количество ФЭМ, шт.	6
КПД ФЭМ, %	21,41 %
Напряжение ФЭМ в точке максимальной мощности V_{\max} (V)	39,22 V
Ток ФЭМ в точке максимальной мощности, I_{\max} (A)	9,43 A
Напряжение холостого хода ФЭМ, $V_{x.x}$ (V)	48,15 V
Ток короткого замыкания ФЭМ, $I_{к.з.}$ (A)	9,94 A
Площадь ФЭМ, m^2	2,584
Количество инверторов, шт	1
Модель инвертора- E SUN/hybrid, 3 kW	1
АБ, 12V, 200 Ah, шт.	2
ДГ, 3 kW	1
Опреснительная установка, шт.	1
Насосная станция DEKO DKJP800, шт.	1

Если соотношение разделить на среднемесячную дневную сумму заатмосферного излучения H_0 и ввести $K_j = H / H_0$, то можно получить:

$$\frac{H_T}{H_0} = K_T' \left[\left(1 - \frac{H_d}{H} \right) \bar{R}_b + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right) \right]. \quad (2)$$

Значение среднего излучения на наклонных поверхностях определен с помощью КТ-метода [10]:

$$\bar{R} = \frac{\cos(\varphi - \alpha)}{d \cos \varphi} \left\{ \left(a - \frac{H_d}{H} \right) \left(\sin \omega'_s - \frac{\pi \omega'_s}{180} \cos \omega'_s \right) + \frac{b}{2} \left[\frac{\pi \omega'_s}{180} + \sin \omega'_s (\cos \omega'_s - 2 \cos \omega''_s) \right] \right\} + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right). \quad (3)$$

Среднее значение количества вырабатываемой энергии ФЭП за год определяется согласно [8]:

$$E_{\text{ФЭП}} = \frac{E_{\text{сумСИ}} \cdot K_{\text{д}} \cdot P_{\text{ФЭП}} \cdot K_{\text{пот}}}{I_{\text{СИ}}}, \quad kW \cdot h. \quad (4)$$

Ниже на рис.5,6,7,8 приведены фрагменты из серии определения технического потенциала солнечной энергии, а также технического потенциала использования части ФЭП разработанной ГМСТЭ.

Из рис.5. видно, что показатель среднедневного суммарного GHI по всей территории страны варьируется в диапазоне $3,2 \div 5,2 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$, что согласно с определенными отечественными учеными по вышеуказанному показателю [11, 12].

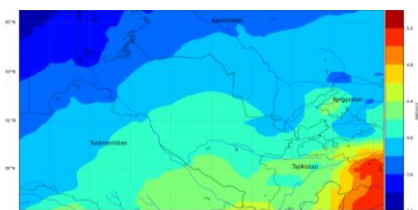


Рис. 5. Среднедневное суммарное солнечное излучение, падающее на горизонтальную поверхность в год на территории Республики Узбекистан [9]

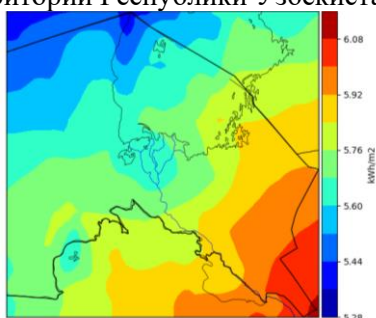


Рис. 6. Среднедневное значение GTI на территории Республики Каракалпакстан [9]

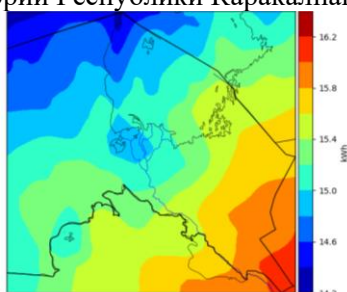


Рис. 7. Среднедневное значение технического потенциала использования ФЭП в составе разработанного ГМСТЭ на территории Республики Каракалпакстан [9]

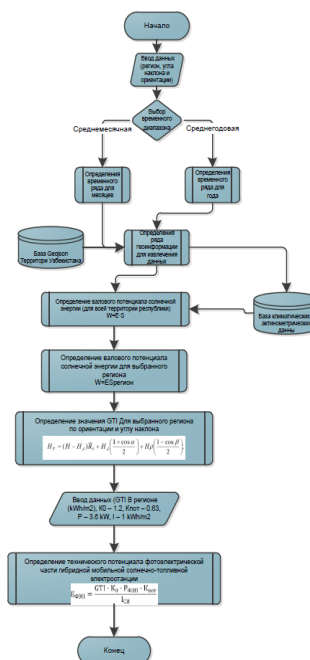


Рис. 8. Алгоритм определения технического потенциала части ФЭП ГМСТЭ с автоматизированным управлением режимами энергопотребления на территории РУз [9]

Также авторами выявлено, что на территории выбранного региона, согласно данным ВМО [13]:

Количество дней с осадками ($\geq 1,0$ мм) 29,44 (8,07%)
 Количество дней без осадков 335,56 (91,93%)

Также, согласно расчетам, выполненным авторами [12]:

Кол-во солнечных дней 190
 Кол-во частично облачных дней 74

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Кол-во облачных дней

101

Результаты исследований [11] показывают, что годовая сумма прихода прямого солнечного излучения на нормальную к солнечным лучам поверхность составляет 1900-2100 кВт·ч/м².

В табл.3 приведены результаты расчета GTI и технического потенциала разработанной ГМСТЭ.

Таблица 3

Показатели среднегодневного GTI и технического потенциала использования ГМСТЭ на территории поселка Урга, Судочье, Республика Каракалпакстан [9]

Месяцы	GTI кВт·ч/м ² в сутки	Выработка, кВт·ч в сутки
Январь	1,0÷2,0	2,75÷5,25
Февраль	2,0÷3,0	5,25÷8,25
Март	2,7÷3,9	7,2÷10,3
Апрель	4,56÷5,16	12,15÷13,7
Май	4,65÷6,0	12,3÷15,9
Июнь	5,92÷6,72	15,6÷17,6
Июль	5,7÷6,7	15,0÷17,6
Август	5,28÷6,08	14,2÷16,3
Сентябрь	3,6÷4,95	9,9÷13,0
Октябрь	2,25÷3,6	6,0÷9,1
Ноябрь	1,0÷2,2	2,7÷5,7
Декабрь	1,12÷1,92	3,0÷5,1

Из рис.6 и рис.7, а также из табл.3 можно сделать вывод, что в выбранном регионе значение GTI колеблется в диапазоне 1,0 ÷ 6,72 кВт·ч/м² в сутки. При этих климатических условиях, в сентябре месяце, количество энергии, которую можно получить с помощью фотоэлектрической части ГМСТЭ с автоматизированным управлением режимами энергопотребления, согласно формуле (4), варьируется от 9,9 до 13,0 кВт·ч в сутки.

Далее приведем пример расчета технического потенциала применения разработанного ГМСТЭ.

Известно, что валовой потенциал солнечной энергии для определенной территории определяется по формуле:

$$W_{\text{в}} = E \cdot S_{\text{р}} \quad (5)$$

Значение данной величины для Республики Каракалпакстан (E – годовая инсоляция в регионе, - 1314 кВтч/м², S_р – территория региона: - 166600 км²):

$$W_{\text{в}} = 1314 \cdot 166600 = 0,22 \text{ ГВтч} = 48,4 \text{ т.н.э.}$$

Технический потенциал использования фотоэлектрической части ГМСТЭ в Республике Каракалпакстан рассчитывается согласно формуле (4):

$$E_{\text{уст}} = \frac{GTI \cdot K_0 \cdot P_{\text{ФЭП}} \cdot K_{\text{пот}}}{I_{\text{СИ}}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

где GTI – суммарная солнечная радиация в регионе, в сентябре месяце, 3,6 кВт·ч/м², K₀ – поправочный коэффициент (1,2) [14], P_{ФЭП} – установленная мощность ФЭП (3,6 кВт), K_{пот} – потери энергии [14], I_{СИ} – интенсивность солнечного излучения при тестировании, 1 кВт·ч/м².

Согласно авторам [14], общие потери энергии при преобразовании СИ в ФЭС включают в себя: потери в проводах - 1 %; потери в инверторе - 3-7 %; потери связанные с ростом температуры ФЭМ - 4-8 %; потери, в процессе работы ФЭП в период низкого уровня СИ - 1-8 %; потери связанные с затенением и загрязнением ФЭП 1-3 %; потери шунтирующих диодов - 0,5 %. Также, согласно результатам моделирования на ПО PVSystem (табл.4) общие потери в системе составляют 37%. Тогда $K_{пот} = 0,63$. Имея все данные, произведем расчет:

$$E_{уст} = \frac{3,6 \cdot 1,2 \cdot 3,6 \cdot 0,63}{1} = 9,9 \text{ kW} \cdot \text{h в день.}$$

Результат идентичен полученному значению соответственного параметра по PVSystem.

Результаты моделирования фотоэлектрической части разработанной МГСТЭ на ПО PVSystem. Основные показатели солнечной части, установленной на объекте МГСТЭ, согласно результатам моделирования на ПО PVSystem представлены в табл.4.

Таблица 4
Выходные параметры установленной МГСТЭ мощностью 3,6 kW в выбранном объекте согласно результатам моделирования на ПО PVSystem

№	Тип ФЭМ	Установленная мощность (Вт)	Выработка ФЭМ (энергия подаваемая к инвертору) (kWh в год)	Capacity factor (фактор заполнения) kWh/kWpeak	Суммарные потери в системе (%)	PR системы (%)	Сокращение выбросов CO ₂	Срок окупаемости
1.	Моно-Si	3600	5904,2	1640,25	37	93,81	2763 kg/year	9 лет

Авторами выполнен расчет по определению возможности эффективного применения разработанной МГСТЭ с автоматизированным управлением режимами энергопотребления на выбранном объекте для энергообеспечения минимальных жизненных нужд семьи из 4-х человек. Исследования проводились относительно электрической нагрузки данного абонента в выбранном регионе, параметры энергопотребления которой приведены в табл.1. При этом учитывается, что согласно КМК 2.04.02-97 «Водоснабжение. Внешние сети и сооружения» [15], на 1 человека требуется 40-50 л/д воды для бытовых нужд. Данная потребность в размере 200 л/д для выбранного абонента покрывается за счет использования опреснителя в составе МГСТЭ, параметры которого приведены в табл.5.

Таблица 5
Параметры производительности опреснителя в составе установки

Установка	Производительность	
	Часовая	Дневная
Опреснитель солнечный	19 l	114,6 l
Насосная станция DEKO DKJP800	3720 l	

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Результаты моделирования на программном продукте PVsyst показывают, что годовая выработка ЭЭ ГМСТЭ составляет 5904,92 kW·h. Согласно результатам симуляции, 23,7% не хватающей ЭЭ (793 kW·h) можно покрыть за счет использования АБ мощностью 4,8 kW.

Ниже на рис.9 приведен график нагрузки объекта и варианты покрытия спроса на ЭЭ выбранного объекта ГМСТЭ на 28.09.2023 г.

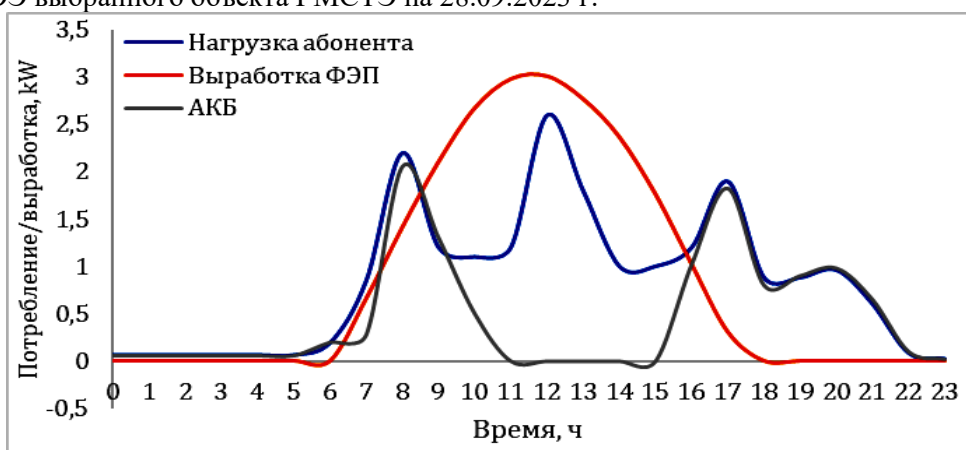


Рис. 9. График обеспечения потребления на ЭЭ выбранного объекта разработанной ГМСТЭ (получен автором на основе проведенных испытаний)

Как видно из рис.9, в ночное время суток – с 0:00 до 7:00 нагрузка покрывается АБ, далее, с 9:00 до 16:00 нагрузка покрывается за счет ФЭС, в пиковые часы то же потребление можно полностью обеспечить за счет АБ.

Таким образом, при внедрении указанного программного продукта и разработанного ГМСТЭ в процессе планирования, проектирования и прогнозирования энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии имеется возможность:

- 1) обеспечения электрической энергией для первичных нужд семьи из 4-х человек (3383,29 kWh в год);
- 2) повышения прогнозных показателей производительности энергосистем от 10% и выше;
- 3) обеспечения питьевой водой в объеме 114,6 l/d для семьи из 4-х человек;
- 4) обеспечения водоснабжение для бытовых нужд (физиологической, гигиенической и др. потребностей) для семьи из 4-х человек с запасом – 3720 l.

Далее авторами выполнен расчет технико-экономических и экологических показателей разработанной ГМСТЭ.

Формирование общих затрат на разработку гибридной мобильной солнечно-топливной электростанции и создание программы по определению технического потенциала применения солнечных энергетических установок на территории республики определено с помощью следующих формул [16]:

$$OZ = \sum z_{z.ni} + z_{m.p.i}; \quad (6)$$

где OZ - общие затраты, $z_{z.ni}$ - затраты на заработную плату разработчику и обслуживающему персоналу, $z_{m.p.i}$ - затраты на материальные расходы.

Затраты на заработную плату разработчику и обслуживающему персоналу определяются по выражению [16]:

$$z_{z.n.} = n_m \cdot o_e; \quad (7)$$

где n_m - количество месяцев, o_e - ежемесячный оклад. Согласно расчету, инженеру-технику за 3 месяца с ежемесячным окладом в 1 800 000 сум – 5 400 000 сум [17]. Капитальные затраты на разработку ГМСТЭ представлены в табл. 6.

Таблица 6

Капитальные затраты на разработку ГМСТЭ

№	Наименование оборудования	Мощность, W	Суммар-ная мощность, W	Кол-во	Цена за единицу, сум	Стоимость, сум
1	ФЭМ	600	3600	6	2 075 700	12 454 200
2	Гибридный однофазный инвертор EA SUN Power 24 V/220 V	3000	3000	1	3 979 030	3 979 030
3	Аккумуляторные батареи гелевые 200 Ah, 12 V	2400	4800	2	3 567 000	7 134 000
4	Дизельный генератор	3000	3000	1	6 500 000	6 500 000
5	Металлическая рама			1	975 000	975 000
6	Насосная станция DEKO DKJP800	800	800	1	1 055 825,74	1 055 825,74
7	Опреснитель			1	5303093	5 303 093
8	Программное обеспечение			1	5 000 000	5 000 000
				13	28 475 649	42 401 149

Расчет расходов на сервисное обслуживание гибридной мобильной солнечно-топливной электростанции [16]:

$$P_{c.o.n.v.} = \sum O_{n.ci} \cdot n_i + O_{c.p.i} \cdot n_i \quad (8)$$

Сервис, проверка, ремонт и настройка системы: 12*10 000 сум=120 000 сум в год. В общем итоге затраты – 120 000 сум в год.

Таким образом, общие затраты на разработку ГМСТЭ с учетом создания ПО, а также расходов на сервисное обслуживание составили 47 801 149 сум.

Расчет экологических показателей. Согласно методике расчета [18], рассчитана удельная экономия топлива для выработки ЭЭ в размере 3383,29 kWh в год; и выявлено, что удельная экономия природного газа и Ангрэнского угля при этом составляет 387 Nm³ и 0,96 t в год, соответственно. Тогда уменьшение выбросов CO₂ в окружающую среду при сжигании природного газа составляет 528 kg и

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Ангреноского угля (в зависимости от процентного содержания углерода в составе угля) 5 t в год, соответственно.

С учетом того, что в среднем тонна выбросов CO₂ в мире колеблется от 85-100 долл.США [19], за счет использования разработанного ГМСТЭ имеется возможность сэкономить 6100000 сум в год.

Расчет технологических показателей. Согласно расчетам, расстояние от Кунграда до Судочье – 50 km. Цена метра самонесущих изолированных проводов СИП-3 1x35, используемого при прокладки воздушных ЛЭП до 1 kV составляет 7548 сум [20]. При этом, проведение ЛЭП до поселка Урга, Судочье обходится в 377 400 000 сум.

В контексте топливных электростанций известно, что современные газовые электростанции потребляют для производства 1 kW - электроэнергии порядка 0,23-0,375 m³/h топлива. В случае годового электропотребления выбранного объекта на примере поселка Урга, Судочье, Республика Каракалпакстан в размере 3383,29 kWh удельная экономия природного газа будет составлять 778,2 m³ в год.

Согласно имеющейся информации, Китай платил Узбекистану за 1000 m³ природного газа 182,25 долл.США (0,18225 долл.США за 1m³) [21]. Тогда ФЭГ мощностью 3,6 kW позволит сэкономить 778,2*0,375=292 долл.США (3582504 сум) в год. Таким образом, полная экономическая эффективность при использовании разработанного ГМСТЭ составляет 338 281 355 сум в год.

Согласно предварительным расчетам, при условии, что ГМСТЭ будет работать 264 дней в году с учетом частично облачных дней, имеется возможность замещать традиционные энергоресурсы за счет использования установки для абонентов индивидуального характера в целях покрытия минимальных нужд до 80%.

Заключение. Разработана ГМСТЭ, отличающаяся от существующих аналогов по конструктивным решениям (компактностью), гибридность (ФЭП с ДГ), рациональными параметрами автоматизированного управления режимами энергопотребления на основе умных датчиков АТОН-11, датчиков напряжения VCR01 и тока класса защиты IP40 для обеспечения электроэнергией нужд семьи из 4-х человек, согласно нормативам.

Установлено, что гибридная мобильная солнечно-топливная электростанция с автоматизированным управлением режимами энергопотребления для непрерывного энергообеспечения абонентов индивидуального характера, обеспечивает энергоснабжение объекта, электрическая нагрузка которой составляет 9,146 kW·h в сутки и годовая экономия при этом составляет 338 281 355 сум.

Реализация такой электростанции позволит не только снизить зависимость от ископаемых ресурсов, но и обеспечить стабильное и эффективное энергоснабжение в удаленных или непрерывно изменяющихся условиях. Результаты исследования могут быть важным вкладом в развитие устойчивых и автономных систем энергоснабжения для домашних и малых предприятий.

Литература

1. Lazar Gitelman, Mikhail Kozhevnikov, Yana Visotskaya. Diversification as a Method of Ensuring the Sustainability of Energy Supply within the Energy Transition. *Resources* 2023, 12(2), 19; <https://doi.org/10.3390/resources12020019>
2. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под ред. академика Салимова А.У. –Т. Fan va texnologiyalar nashriot–matbaa uyi, 2021.
3. Avezova N.R., Dalmuradova N.N., Toshev J.B., Farmonov A.A., Mardonova M.Sh. Renewable Energy: Scenario and Model of Development // *Applied Solar Energy*, 2019, V.55, PP.438–445.
4. «Целевые индикаторы по развитию солнечной энергетики в Республике Узбекистан до 2030 года», Министерство энергетики Узбекистана.
5. Аvezova Н.Р., Рахимов Э.Ю., Вохидов А.У., Далмурадова Н.Н. Модернизация сектора теплоснабжения Республики Узбекистан с внедрением солнечных технологий // *Проблемы энерго-ресурсосбережения*. - Ташкент, 2022, - №4, - С. 226-238.
6. Аvezova Н.Р., Матчанов Н.А., Далмурадова Н.Н., Рашидов К.Ю., Шерматова М.Б. Мобильная автономно-гибридная солнечно-топливная электростанция. Патент на промышленный образец, SAP 02263 27.08.2021.
7. Турсунов М.Н., Сабиров Х., Ахмедов Ш., Усмонов Т. Патент на промышленный образец №SAP 2014, 0066, «Мобильная фотоэлектрическая станция», Ташкент.
8. Турсунов М.Н. и др. Автономная мобильная многофункциональная фотоэлектрическая система экстренного обеспечения электроэнергией сельскохозяйственных объектов // *Проблемы энерго-ресурсосбережения*. - Ташкент, 2014, - №3, - С. 175-180.
9. Далмурадова Н.Н. Программа для определения показателей оценки эффективного применения солнечных энергетических установок на территории Республики Узбекистан. Авторское свидетельство АИС РУз №DGU 28439 от 17.10.2023.
10. Дж. Даффи, У. Бекман. Основы солнечной теплоэнергетики. Долгопрудный, 2013. 889с.
11. Avezov, R.R. and et all. History and State of Solar Engineering in Uzbekistan // *Applied Solar Energy*. -2012. Vol. 48. – No. 1. – P. 14–19.
12. Рахимов Э.Ю.. Автореф. дисс. на соискание доктора философии по техническим наукам, Т., 2021, с.48
13. Официальный сайт Всемирной метеорологической организации. <https://www.ccacoalition.org/ru/partners/world-meteorological-organization-wmo>.
14. Койшиев Т.К., Бахтиярова У.М. Оценка выработки электрической энергии солнечной станции 3 МВт на юге Казахстана с использованием базы данных по солнечной радиации NASA. // *Технические науки – от теории к практике*. 2017. - №3 (63), - С.141-147.
15. КМК 2.04.02-97 «Водоснабжение. Внешние сети и сооружения». Т., 1997.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

16. Велькин В.И. Методология расчета комплексных систем ВИЭ для использования на автономных объектах. –Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 226 с.

17. <https://uz.trud.com/salary/304582/3600.html>.

18.Рахимов Э.Ю., Далмурадова Н.Н., Куралов М.А. Оценка эффективного применения фотоэлектрических станций в системах электроснабжения многоэтажных домов / Сборник научных трудов международной научно-технической конференции “Актуальные проблемы системы электроснабжения». Ташкент, 25-26 ноября, 2021 г. - С. 475-477.

19. В Швейцарии тонна CO₂ стоит больше 100 долларов. Интернет, <https://www.swissinfo.ch/rus/politics>. Дата обращения, 14.07.2021.

20. Официальный сайт компании UZKABEL <https://kabel.uz/catalog/sip>.

21. Узбекистан прекратил экспорт газа в Россию и втрое сократил поставки в Китай. Интернет: <https://fergana.media/news/120215/>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК: 621.472.383.56

ФОТОЭЛЕКТРИК СУВ ЧИҚАРУВЧИ ТИЗИМНИНГ ИШЛАШИНИ ВА ҲАРОРАТ, ЧАНГЛАНИШ, ДЕГРАДАЦИЯ ТАЪСИРИДА ЙЎҚОТИШЛАРИНИ НАЗАРИЙ ВА PV-syst ДАСТУРИ ЁРДАМИДА ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ**М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, М.М. Эшматов**

Ушбу тадқиқот ишида Навой вилоятининг Томди туманидаги иссиқ иқлим шароитида аҳоли яшаи жойидан 200 км узоқликда электр тармоғи мавжуд бўлмаган жойда жойлаштириладиган фотоэлектрик сув чиқариш тизимининг назарий ва PV-syst дастури ёрдамида таҳлили амалга оширилди. Тизимни лойиҳалаида автоном фотоэлектрик сув чиқариш тизимининг географик жойлашуви ҳолати, сув чиқарувчи насос ва гидравлик тизимининг параметрлари ўрганилди. Тизим учун зарур бўлган фотоэлектрик массив аккумуляторлар, инвертерларни танлаида назарий ва математик ҳисоб китоб ишлари амалга оширилган. PV-syst дастурида тизимининг йиллик ишлаи коэффициенти, насос ва фотоэлектрик массив самарадорлиги ва йўқотишлари таҳлил қилинди. Назарий ҳисоб китоб ишлари PV-syst дастурида олинган натижалар билан мос келди. Тизимининг ҳарорат ва деградация таъсирида йўқотишлари аниқланди ва Фотоиссиқлик батареяларидан тизим учун фойдаланиш ФЭБ сонини қисқартириши орқали 30% га камайтиришига эришиши мумкинлиги аниқланди.

Калит сўзлар. PV - фотоэлектрик массив, фотоэлектрик батарея, фотоиссиқлик батарея, аккумулятор, инвертер.

В данной работе с использованием программы PV-syst проведен анализ фотоэлектрической системы водозабора объекта, расположенного в 200 км от места проживания населения, в условиях жаркого климата Томдинского района Навоийской области. При проектировании автономной фотоэлектрической системы водоподъема было учтено географическое положение автономной системы водоотведения, параметры водоотливного насоса и гидросистемы. Проведены теоретические и математические расчеты по подбору необходимых комплектующих узлов и блоков фотоэлектрической системы, фотоэлектрических батарей, аккумуляторов и инверторов. В программе PV-syst были проанализированы годовая эффективность системы, эффективность насоса и фотоэлектрической батареи и потери. Теоретические расчеты согласуются с результатами, полученными в программе PV-syst. Были определены потери системы от температуры и деградации, и было обнаружено, что использование фототепловых батарей для водоподъемной системы может обеспечить уменьшение на 30% количество ФЭБ за счет увеличения эффективности использования.

Ключевые слова. PV - фотоэлектрический массив, фотоэлектрическая батарея, фототепловая батарея, аккумулятор, инвертор.

In this work, an analysis of the photovoltaic water intake system of an object located 200 km from the residence of the population in the hot climate conditions of the Tomdinsky district of Navoi region was carried out using a PVsyst program. While designing an autonomous photovoltaic water lifting system, the geographical location of the autonomous photovoltaic drainage system, the parameters of the drainage pump and the hydraulic system were taken into account. Theoretical and mathematical calculation work was carried out on the selection of the necessary components units and blocks of the photovoltaic system, photovoltaic batteries, accumulators and inverters. In the PV-syst program, annual system efficiency, pump and PV efficiency and losses were analyzed. The theoretical calculations are consistent with the results obtained in the PV-syst program. The losses of the system from temperature and degradation were determined, and it was found that the use of photo thermal batteries for a water-lifting system can provide a 30% reduction in the number of PEB due to an increase in the efficiency of application.

Keywords. PV-syst, photoelectric array, photoelectric battery, photothermal battery, accumulator, inverter

Кириш. Ҳозирги кунда бутун дунёда энергия ва сувга бўлган талаб кун сайин ортиб бормоқда, шу қатори Ўзбекистонда ҳам. Айниқса аҳоли сонини ортиши билан кундалик эҳтиёжлар учун озик овқат маҳсулотларига бўлган талаб ҳам ортиб бораверади. Озик овқат маҳсулотларини етиштириш учун энг асосий омиллардан бири бу сув муаммосидир. Республикаимизнинг катта қисми қишлоқ хўжалик маҳсулотларини етиштиришга мослашган. Лекин барча жойларда ҳам сув билан таминланганлик даражасини турли сабабларга кўра қониқарли деб бўлмайди. Бундай сабабларга жойларда сув захираларининг етишмаслиги, сув захиралари мавжуд жойларда энергия етишмаслиги асосий омиллар ҳисобланади. Қишлоқлар одатда электр тармоғидан узоқда жойлашган бўлиб, бу қишлоқларда сув таъминоти тақчиллигига катта таъсир кўрсатади. Қишлоқлар ва чекка ҳудудларнинг сув билан таъминлаш муаммосини ер ости сувларидан фойдаланиш орқали ҳал қилиш мумкин. Ер ости сувларидан фойдаланиш сув чиқарувчи насослар ёрдамида амалга оширилиб улар электр энергияси ҳисобига ишлайди. Бу энергияга бўлган талаб, тармоқ мавжуд бўлмаган жойларда дизел, шамол генераторлари ва фотоэлектрик батареялар ёки шунга ўхшаш бошқа энергия манбаларидан фойдаланилади. Фотоэлектрик сув насос тизими суғориш ва чорвачилик сув таъминоти учун истиқболли ечим бўлиб, шунингдек, тармоққа уланиш мавжуд бўлмаган чекка ҳудудлардаги сувга бўлган талабларни қондиради [1]. Чунки улардан фойдаланиш энергияга бўлган эҳтиёжнинг ортишига қараб босқичма-босқич ўрнатиш сиғимини ошириб борилиши ва 20 йилгача бўлган хизмат муддати билан ишончлидир [2]. Бу тизим куйидаги афзалликларга кўра самарали ечим ҳисобланади: катта инфратузулмани таълаб қилмайди, кам техник хизмат кўрсатиш, фойдаланиш харажатлари, экологик жиҳатдан тоза, арзон ва барқарор энергия олиш имкониятига эга.

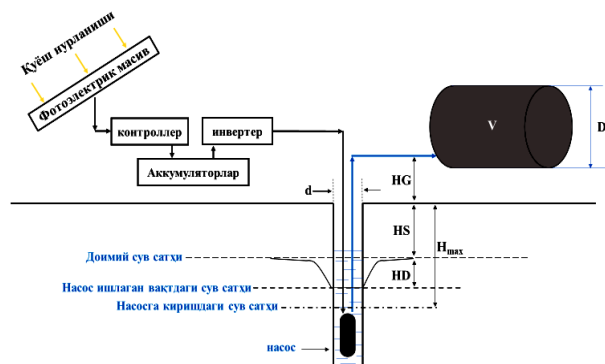
Шу сабабли ушбу мақола марказлашган электр тармоғи етиб бормаган Навоий вилояти Томди туманининг чўл ҳудудида жойлашган чорвачилик хўжаликларининг бирида сувга бўлган таълабни қондириш учун ўрнатилган автоном сув чиқарувчи

тизим лойихаси кўрилган. Тизим муҳокамаси PV syst дастурий пакети ёрдамида бажарилди. PVsyst иқлимий маълумотлар тўпламига эга бўлган маълумотлар жадвалларини тақдим этади, ундан тизим таҳлили пайтида фойдаланиш мумкин [3]. Фотоэлектрик сув чиқариш тизимларининг ишлаши ва самарадорлигига таъсир қилувчи асосий омиллар атроф-муҳит шароитлари ҳисобланади. Нурланиш ва ҳароратнинг ўзгариши фотоэлектрик сув чиқариш тизимининг сув чиқаришига ва унинг оптимал ўлчамига таъсир қилади. Тизимнинг ишлашини таҳлил қилиш учун турли массив конфигурациясининг таъсирини ўрганиш керак ва PV syst бундай тадқиқотлар учун платформани тақдим этади [4]. Назарий натижалар ва экспериментал натижалар бир-биридан фарқ қилиши мумкин. Назарий натижалар биз симуляция дастурида тақдим этган параметрларга асосланади. Экспериментал натижалар атроф-муҳит параметрларининг ўзгариши сабабли фарқ қилиши мумкин [5].

Қудуқлардан сув олиб чиқишнинг бу тизими, кўзда тутилган фермер хўжалигида сув 1000 бошдан зиёд майда чорва молларини суғориш ҳамда майиш эҳтиёжлар учун ишлатилади. Ҳар бир майда чорва молининг бир марта сув истемоли учун керак бўладиган сув миқдори 2,5 л деб олинса, ёз ва кузнинг ўрталаригача чорва моллари кунига 2 марта сув истемол қилишини этиборга олинса демак ёз ойларида ҳар битта майда чорва моли кунига 5 л сув истемол қилади. Бу ҳисоб-китобни 1000 бош майда чорва моллари учун ҳисобланса ёз ойларида бир суткада 5000 л яъни 5 м³ сув чорваларни суғориш учун керак бўлади. Қиш ойларида чорва моллари суткада 1 марта суғорилади деб ҳисобланса, юқоридаги ҳисоб китобдаги кунлик керак бўладиган сув миқдори икки бараварга камаяди. Шу сабабли суғориш ва хўжаликнинг бошқа эҳтиёжлари учун зарур бўлган сув миқдори ёзги мавсумда 6-7 м³ гача, қишда эса 3-3,5 м³ гача бўлади. Лойиҳада кўзда тутилаётган автоном фотоэлектрик сув чиқариш тизими сувга бўлган ушбу талабни қоплашини PV syst дастури орқали назарий жиҳатдан ҳисоблашни талаб қилади. Қуёш энергиясидан махсус сув олиш учун фойдаланишнинг афзалликлари баҳор-ёз-куз даврида булутли кунлар эҳтимоли паст бўлган қуёш нурланишининг максимал келиши ва йиллик максимал сув талабининг мавсумий тасодифийлиги билан боғлиқ [6]. Шу билан бир қаторда ушбу фермер хўжалигида шу вақтгача чорваларни суғориш ва майиш истемол учун сув чиқаришда 1.5 кВт насосни энергия билан таъминлашда бензин билан ишловчи генератордан фойдаланилган. Ҳар куни ички ёнув двигателининг ишлаши 10-12 литрдан ортиқ ёқилғи сарфланишига олиб келган. Бензин Зарафшон шаҳридан (65 км) йўлдан махсус идишларда олиб келинган, бу эса қўшимча харажатларни талаб қилган. Бундан ташқари, бензинни транспорт орқали этказиб бериш ва ички ёнув двигателига хизмат кўрсатиш учун амортизация ажратмалари учун ҳафтасига 50 литрдан ортиқ бензин талаб қилинган. Буларнинг барчаси кунига ўртача 14 литр бензин сотиб олиш учун сарф-харажатларни талаб қилди, бу бугунги нархларда қарийб 100 минг сўмни ташкил қилади. Шу боис фермер хўжалиги ходимлари замонавий сув кўтарувчи насосдан фойдаланиш учун фотоволтаик энергия манбаларига ўтишга қарор қилишди.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Томди туманида жойлашган фотоэлектрик сув чиқариш тизимининг (ФЭСЧТ). схематик диаграммаси ва лойиҳалашда ишлатиладиган асосий воситалар, кудуқ ва сув сақлаш резервуарининг параметрлари 1-расмда келтирилган.



1-расм. Фотоэлектрик сув чиқариш тизимининг (ФЭСЧТ) схематик диаграммаси

Фотоэлектрик сув чиқариш тизимларини лойиҳалашда, станция ўрнатиладиган жойнинг географик жойлашуви бўйича маълумотлар асосида сув чиқарувчи насосни электр энергияси билан таъминловчи ФЭБ лардан ташкил топган Фотоэлектрик массивнинг қиялик ва азимут бурчақларини шундай танлаш талаб қилинадики, бунда массив максимал даражада электр энергия ишлаб чиқариши керак.

1-жадвал

АФЭСЧС нинг ҳудудий жойлашув жадвали

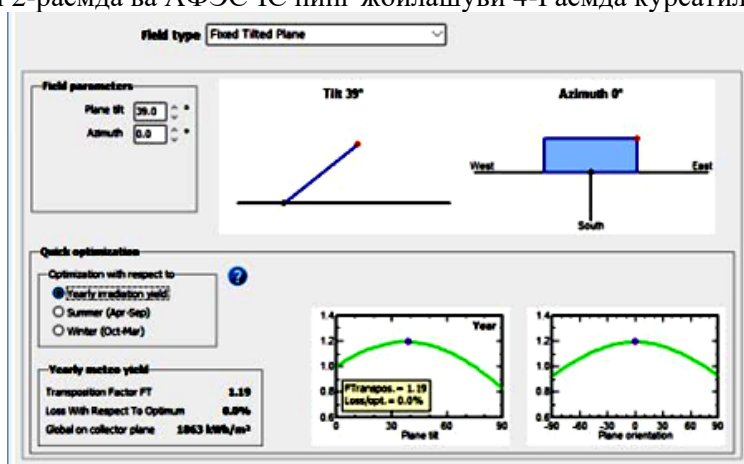
Project summary			
Geographical Site	Situation	Project settings	
Koriz	Latitude	42.27 °N	Albedo
Uzbekistan	Longitude	65.18 °E	0.30
	Altitude	292 m	
	Time zone	UTC+5	
Meteo data			
Koriz			
Meteonorm 8.0 (1993-2000), Sat=100% - Synthetic			

Автоном фотоэлектрик сув чиқариш тизимининг географик жойлашув ҳолати. АФЭСЧҚ 1-расмда кўрсатилганидек, Навоий вилоятининг шимолида (географик кенглик: +42,27, узунлик: +65,18 денгиз сатҳидан 292 м баландликда Ер сиртига тушадиган йиллик кўёш нуруланниш оқим зичлиги 1660,1 кВт·соат/м²/йил ни ташкил қилади [4]. Pvsyst дастурий пакети маълумотлар базасига киритилган параметрлар асосида Томди туманидаги автоном фотоэлектрик сув чиқариш станцияси учун альбедо 0,30 га тенглиги 1-жадвалда кўрсатилган.

Фотоэлектрик массивни ўрнатишда массив текислигига нисбатан қиялик бурчагини шундай танлаш керакки, оптималга нисбатан йўқотиш деярли 0% ни ташкил қилсин ва Фотоэлектрик массив фронтал текислигига тушувчи глобал кўёш

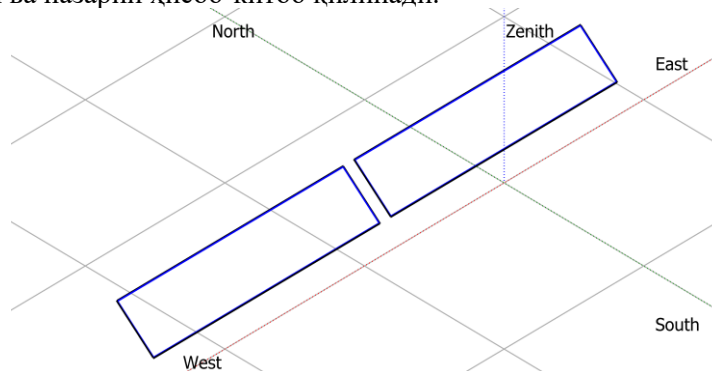
нурланиш оқим зичлиги максимал бўлсин[7]. Бизнинг ҳолатда фотоэлектрик массив жанубга қараган ва қиялик бурчаги 39° ва азимут 0° ни ташкил қилади.

Бу ФЭСЧТ жойлашган ҳудуд учун йил давомида максимал энергия ишлаб чиқариш учун энг мақбулдир. ФЭБ ларининг ўрнатиш бурчагини аниқлаш интерфейси 2-расмда ва АФЭСЧС нинг жойлашуви 4-Расмда кўрсатилган.



2-расм. ФЭБ ларининг ўрнатиш бурчаги ва азимуту

Жойдаги сувга бўлган таълабга кўра сув чиқарувчи насос, насосни энергия билан таъминловчи ФЭБ лар, инвертер, контроллерлар ва аккумуляторлар тизими лойиҳаланади ва назарий ҳисоб-китоб қилинади.



3-расм. АФЭСЧС нинг жойлашуви

Сув чиқарувчи насос ва гидравлик тизим. хўжаликнинг кунлик сувга бўлган талаби ва қудуқнинг умумий чуқурлигидан келиб чиқиб сув чиқариш насоси танланади.

Чорвачилик фермер хўжалигининг кунлик сувга бўлган талаби ва қудуқнинг параметрларидан келиб чиқиб биз сув чиқарувчи насосни 1,5 кВт қувватдаги, максимал сув чиқариш баландлиги 77 м ва соатига $3,6 \text{ м}^3$ сув чиқариш қобилиятига эга VACSON 1500 W русумли 220 В кучланишда ишловчи сув чиқариш насосидан

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

фойдаланишни лозим топдик. Сабаби чорвачилик хўжалигининг ёз кунлари учун сувга бўлган талаби 6-7 м³ эканлигидан, насос 2 соат давомида 7,2 м³ сув чиқаришга эришади ва бу сувга бўлган талабни тўла қоплайди.

Чорвачилик хўжалигида ер ости сувидан фойдаланилади яъни чуқур қудуқдан сув юқорига кўтарилади ва сув йиғувчи захира идишига қуйилади захира идиши орқали чорваларни суғориш учун тайёрланган махсус пўлатдан ясалган ариқларга йўналтирилади.

Қудуқ ва сув сақловчи идишнинг параметрлари 1- расмда келтирилган.

НГ - сув чиқариш қувурининг ер сатҳидан захира идишига сувнинг қуйилиш нуқтасигача бўлган баландлик (метрда).

НС - насос ишламаган пайтдаги доимий (статик) сув сатҳидан ер сиртигача бўлган баландлик (метр).

НД – Сув насоси ишлагандан кейинги пасайган сув сатҳи билан, доимий (статик) сув сатҳи орасидаги баландлик. (метр).

НФ - сув чиқариш қувурларидаги ишқаланиш йўқотишлари, (метр). Бундан ташқари лойиҳалаш учун сув сақловчи идишнинг диаметри D ва ҳажми V, Қудуқнинг диаметри d ва қувурлардаги уланишлар сони N, қувур узунлиги L каби параметрлардан фойдаланилди.

Ушбу АФЭСЧС учун ушбу параметрлар НГ = 1 м, НS = 67 м, НD = 0,5 м, НF = 7 м Умумий баландликнинг 10% миқдорида, D = 2 м, V=10 м³, d=1,2 м, N=3, L=80 м каби кўрсаткичларни ташкил қилди.

Тизим учун гидравлик қувват талаби қуйидаги формула асосида ҳисобланади [8]:

$$P_H(W) = \rho ghQ = \frac{\rho ghQ}{3,6 \cdot 10^3}; \quad (1)$$

бу ерда, ρ - сув зичлиги (кг/м³), g-эркин тушиш тезланиши (м/с²), Н- сув чиқариш баландлиги (м), Q – насос ёрдамида 1 соат вақт ичида чиқарилган сув ҳажми (м³/соат)

Сув насоси томонидан талаб қилинадиган қувват ёки сув насосининг паспорт маълумотидаги қуввати (2) ифода билан аниқланади:

$$P_{P,R,P}(W) = \frac{P_H(W)}{\eta_P}; \quad (2)$$

бу ерда $P_{P,R,P}(W)$ - Сув насоси томонидан талаб қилинадиган қувват, η_P - насос самардорлиги.

Инвертор. Сув чиқариш учун танланган насос асосан ўзгарувчан токка мослашганлиги сабабли, инвертор фотоэлектрик массивда ишлаб чиқарилган доимий қувватни ўзгарувчан ток кучига айлантириш учун ишлатилади. Аккумулятор ва батареяларнинг кучланишлари бир - хил бўлиши, фотоэлектрик массивнинг умумий чиқиш қувватига бардош бера олиши керак[9]. Бундан ташқари сув чиқарувчи насоснинг қувватидан келиб чиқиб, юклама пайтидаги қувватнинг ошиши ҳисобга олиниши керак. Инверторнинг қуввати қуйидаги формула бўйича ҳисобланади [10].

$$P_{inv} = 1,25(1,44 * \text{Насос қуввати}). \quad (3)$$

Бизнинг лойиҳадаги АФЭСЧС учун сув насоси қуввати 1,5 kW канлигидан керак бўлувчи инверторни (1) формула аосида танлашимиз мумкин.

$$P_{inv} = 1,25(1,44 * \text{Насос қуввати}) = 1,25(1,44 * 1500) = 2700W \\ = 2,7 kW$$

Демак биз сув чиқариш учун зарур бўлган инверторни танлашда қуввати 3 kW бўлган инверторлардан фойдаланишимиз мумкин.

Фотоэлектрик массив. Фотоэлектрик батареялар мустақил фотоэлектрик тизимларнинг энг муҳим қисмидир. ФЭБ лари бу куёш энергиясини электр энергиясига айлантирадиган бир-бирига уланган кўплаб элементлар тўпламидир [11]. Фотоэлектрик массивлар эса ФЭБ лардан ташкил топади. Истемол қувватига қараб массивдаги ФЭБ лар турли хил конфигурацияларда уланиши мумкин. Фотоэлектрик батареяларнинг ўлчамлари фотоэлектрик массивнинг умумий ҳажмини ҳисоблаш учун керак.

Фотоэлектрик массивдан талаб қилинадиган умумий қувват қуйидагича ҳисобланади:

$$P_{P.R.PV}(W) = \frac{P_{P.R.P}(W)}{\eta_{S.E}}; \quad (4)$$

бу ерда, $\eta_{S.E}$ - тизимнинг самарадорлиги.

Тизимнинг кириш қуввати тушаётган куёш нурланиши ёрдамида ҳисобланади.

$$P_i = ES; \quad (5)$$

бу ерда, E- Куёш нурланиш оқими зичлиги ($Вт/м^2$), S- Фотоэлектрик батареянинг нур қабул қилувчи фронтал сирти юзаси ($м^2$).

ФЭБ нинг чиқиш қуввати (6) ифода ёрдамида ҳисобланади.

$$P_o = I_{SC}U_{OC} FF; \quad (6)$$

бу ерда, I_{SC} - қиска туташув токи, U_{OC} - салт юриш кучланиши, FF - тўлдириш коэффициентини.

Фотоэлектрик массивни қуришда ишлатиладиган ФЭБ лар сони қуйидагича ҳисобланади:

$$N_{PV} = \frac{P_T}{\eta_S}; \quad (7)$$

бу ерда P_T - фотоэлектрик массивдан талаб қилинадиган қувват. η_S - тизим самарадорлиги.

ФЭБ параметрларини назорат қилишни осонлаштириш учун биз фотоволтаик батареялар учун махсус коммутация блокани яратдик. Барча 16 ФЭБнинг учлари ушбу тугунга бирлашади, тугундан чиқишда 24 В ҳосил қилинади, сўнгра танлаган инвертеримиз 24 В га мослашганлигидан 4 та 100 А соат, 12 В ли аккумуляторла 2 та параллел ва 2 та кетма-кет уланиб 24 В га ўтказилади, шундан сўнг 3000 Вт қувватга эга инверторга берилади. Инвертердан чиқишдаги ўзгарувчан 220 В электр кучланиш ҳосил қилинади ва сув чиқарувчи насосга уланади.

Тизимнинг самарадорлигини ҳисоблаш. Сув чиқарувчи насоснинг самарадорлиги юқорида (2) ифода орқали аниқланишини эътиборга олсак

$$\eta_P = \frac{P_H(W)}{P_{P.R.P}(W)} * 100\%. \quad (8)$$

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Формула орқали ҳисобланади:

$$\eta_{PV} = \frac{P_{T,U}(W)}{P_{PV,A}(W)} * 100\%; \quad (9)$$

бу ерда $P_{T,U}(W)$ - фотоэлектрик массивдан фойдаланилган умумий қувват, $P_{PV,A}(W)$ - Фотоэлектрик массив қуввати.

Аккумуляторлар. Аккумуляторлар захира тизими сифатида ишлатилади. Уларнинг асосий вазифаси тунда, ёмғирли ва булутли кунларда фотоэлектрик массив етарли қувват ишлаб чиқармаса, энергияни сақлаш ва керакли қувватни таъминлашдир. Улар нисбатан қиммат бўлганлиги сабабли, иқтисодий жиҳатдан самарали бўлиши учун батареядан фойдаланишни оптималлаштириш, хусусан, уларнинг ишлаш муддатини узайтириш керак. Зарядлаш тезлиги, зарядсизланиш чуқурлиги, батареянинг ҳарорати ва ортиқча зарядлаш каби омиллар батареяларнинг ишлаш муддатига таъсир қилади [12]. Батареяларни алмаштириш нархи қимматлиги сабабли, фотоэлектрик тизимининг умумий нархини камайтириш учун батареядан фойдаланишни оптималлаштириш керак. 4 та аккумуляторда сақланган электр энергияси инвертерни кечаси уч соатгача ва очик қуёшли об-ҳаво шароитида деярли доимий равишда ишлатиш учун етарли. ОБЕРОН томонидан ишлаб чиқарилган кислотали аккумуляторлар + 60° С ÷ - 40° С ҳароратда ишлаш учун мўлжалланган.

Назарий ҳисоблашлар. Ушбу автоном фотоэлектрик сув чиқарувчи тизим учун, насоснинг сув оқими сарфи 3,6 м³/соат ва $g=9,8 \text{ м/с}^2$, $\rho= 10^3 \text{ кг/м}^3$, $h=70 \text{ м}$ эканлигидан тизимнинг гидравлик қуввати қуйидагича бўлади;

$$P_H(W) = 10^3 \text{ кг/м}^3 * 9,8 \text{ м/с}^2 * 70 \text{ м} * 3,6 \text{ м}^3/\text{соат} = 686 \text{ W} = 0.686 \text{ kW}.$$

2-жадвал

Симуляциянинг асосий натижалари

Results summary					
Water		Energy		Efficiencies	
Water Pumped	2581 m ³	Energy At Pump	1025 kWh	System efficiency	22.3 %
Specific	121 m ³ /kWp/bar	Specific	0.40 kWh/m ³	Pump efficiency	48.0 %
Water needs	2907 m ³	Unused (tank full)			
Missing Water	11.2 %	Unused PV energy	124 kWh		
		Unused Fraction	2.7 %		

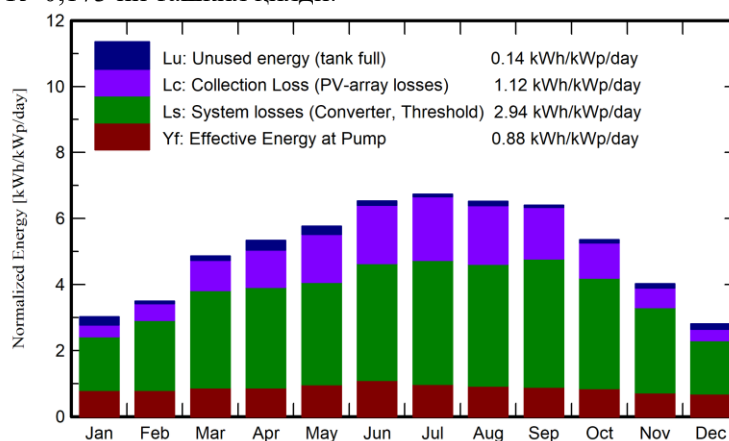
Сув насоси томонидан талаб қилинадиган қувват эса 1500 W (паспорт маълумотидаги қувват) эканлигидан насос тизими самарадорлиги (8) ифода бўйича ҳисобланса 45,7% ни PV-syst дастури орқали олинган натижа билан деярли бир хил натижани ташкил қилди (2-жадвал). (9) ифода орқали фотоэлектрик тизим самарадорлиги ҳисобланганда 22.8% эканлиги аниқланди бу эса PV-syst дастурида аниқланган тизим самарадорлиги (22,3 %) билан деярли бир хил қийматни такрорлади.

Автоном фотоэлектрик сув чиқарувчи тизимни куришда ишлатилган фотоэлектрик батареялар сонини ҳисоблашда, фотоэлектрик массивнинг умумий қувватини, фотоэлектрик модулнинг паспортдаги қувватига нисбати олинади. Бизнинг ҳолда модулнинг қуввати 200 Вт эканлигидан.

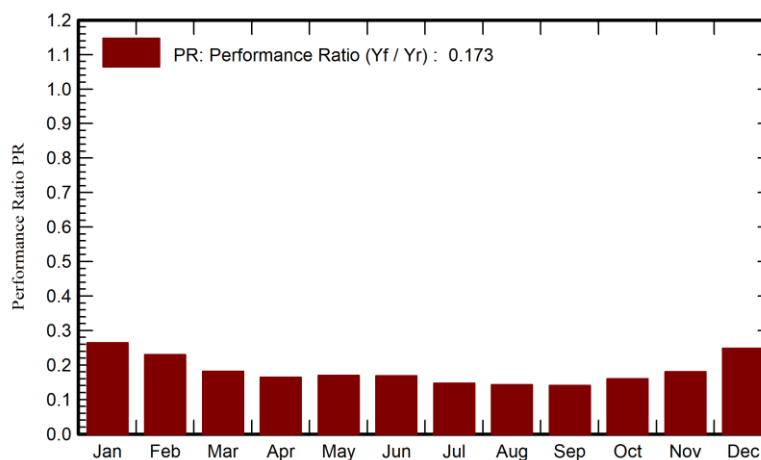
$N=3200/200=18$ демак массивни куришда 16 та модулдан фойдаланилди.

Симуляция натижалари. Симуляциянинг асосий натижалари 2-жадвалда келтирилган.

4-расмда тизимнинг белгиланган (3200 Вт) қувватда электр энергия йўқотишларни ҳисобга олган ҳолда ойлик ишлаб чиқилган электр энергияси. Расмдан кўриш мумкинки сув сақлаш идиши тўлгандан кейинги фойдаланилмаган энергия кунига 0,14 кВт соат/ кВт/кунни ташкил қилган бу энергия аккумуляторда сақланган. Фотоэлектрик массив йўқотишлари ва тизим йўқотишлари мос равишда 1,12 кВт соат/ кВт/кун ва 2,94 кВт соат/ кВт/кун. Сув насосидаги самарали энергия эса 0,88 кВт соат/ кВт/кунни ташкил қилган. 5-расмда самарали энергиянинг маълум вақтдаги нурланишга нисбати бўлган, ишлаш нисбати (PR) кўрсатилган ва бу АФЭСЧС учун PR- 0,173 ни ташкил қилди.



4-расм. 3200 Вт номинал қувватда тизимнинг ўртача йўқотишлари



5-расм. АФЭСЧС нинг йил давомида ишлаш коэффиценти (PR)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

3-Жадвалда АФЭСЧС нинг ойлар кесимидаги ва йил давомидаги натижалари келтирилган.

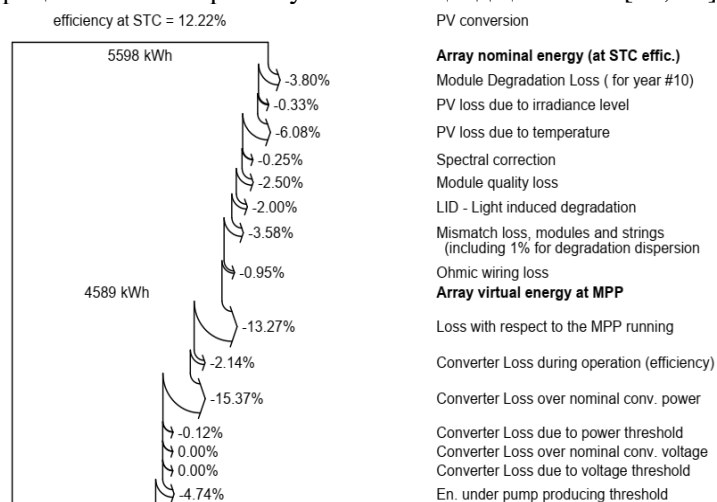
6-расмда тизимнинг йўқотишлар тақсимланишини кўрсатувчи график келтирилган. Йўқотишлар диаграммаси фотоэлектрик сув насос тизимининг сифатини тез ва тушунарли аниқлашга ёрдам беради. Диаграммада кўрсатилган йўқотишлар ҳароратни таъсиридаги йўқотиш, ифлосланиш таъсирида йўқотиш, деградация таъсиридаги, мос келмаслик таъсирида йўқотиш, узатиш симларида йўқотиш ва ҳоказо. Ушбу йўқотиш натижаси тизим самарадорлигини ошириш учун кўшимча таҳлил қилиш имконини беради. (6-расм). Диаграммадан фотоэлектрик массивда йўқотишлар температура таъсирида 6,08%, деградация таъсирида 3,80%, ва бошқа йўқотишини кўришимиз мумкин.

3-Жадвал

АФЭСЧС нинг ойлар кесимидаги ва йил давомидаги натижалари

	GlobEff kWh/m ²	EArrMPP kWh	E_PmpOp kWh	ETkFull kWh	H_Pump meterW	WPumped m ³	W_Used m ³	W_Miss m ³
January	88.3	261.8	79.2	20.17	68.50	201.7	201.5	15.49
February	92.0	266.4	72.1	4.78	67.76	179.6	181.3	14.73
March	141.8	388.8	87.5	9.10	68.24	216.0	211.5	5.53
April	150.0	398.3	84.1	21.18	68.84	209.7	210.0	0.00
May	166.7	421.6	96.8	16.58	68.35	230.3	230.2	2.33
June	182.7	454.1	105.8	8.24	68.10	262.9	265.8	4.16
July	194.7	475.1	98.1	4.30	67.57	247.8	251.0	58.99
August	189.2	467.3	92.2	8.27	68.12	240.4	240.6	38.35
September	180.9	463.2	86.5	3.93	68.06	222.8	219.9	50.07
October	156.7	423.8	84.6	6.51	68.78	227.4	225.2	22.83
November	113.8	326.7	69.6	8.97	66.78	167.7	173.6	66.44
December	81.6	241.6	68.9	12.33	68.29	174.7	175.4	41.63
Year	1738.4	4588.7	1025.4	124.37	68.12	2580.9	2585.9	320.57

Фотоэлектрик батареяларни совутиш орқали электр самарадорлигини ва ишлаш коэффициентини ошириш мумкинлиги қайд қилинган [13, 14].



6-расм. Фотоэлектрик массив йўқотишлари

Температура, чангланиш, паст куёш нурланиши, куёшга нисбатан ориентация натижасидаги йўқотишларни Фотоиссиқлик батарея асосидаги кўчма (мобил) курулмаларидан фойдаланиш орқали масалага ижобий ечим топиш имкони туғилади. [15, 16] ишларда эса рефлекторли фотоиссиқлик батареяси асосидаги сув чиқариш тизимининг ишлаш принципи ва асосий натижалари келтирилган. Муаллифларнинг ишларида рефлекторлар куёш нурланиш оқим зичлигини 1,4 марта ошириши бу эса ўз навбатида қисқа туташув токиннинг ошишига олиб келиши, совутиш тизими орқали салт юриш кучланишининг паспорт маълумотида келтирилган қийматга яқин қийматларда сақланиши бу эса натижада фотоиссиқлик батареяси асосидаги сув чиқарувчи тизимда қувватнинг сезиларли (1,4 марта) ошишига олиб келиши баён қилинган. Қувватнинг рефлекторли фотоиссиқлик батареяси орқали 1.6 марта ошиши Сув чиқарувчи тизимнинг фотоэлектрик массивини қуришда ишлатилган ФЭБ ларни тежашга имкон беради. Қаралаётган сув чиқариш станцияси учун 16 та 200 Вт қувватли ФЭБ ёрдамида 3200 Вт қувват ҳосил қилинган. Агар станция рефлекторли ФИБ лар асосида қурилганда ушбу қувват 12 та 200 Вт қувватли ФЭБ лар ишлатилар эди. Бу эса бизга 4 та ФЭБ ни иқтисод қилиш имконини беради.

Хулоса. Ушбу фотоэлектрик тизимни лойиҳалашда олиб борилган математик ҳисоб китоб ишлари ва PV-syst дастурий натижалар билан мос келди. Дастурий пакет ёрдамида фотоэлектрик массив ва тизим йўқотишлари аниқланди ва фотоэлектрик массивнинг ҳарорат ва деградация таъсирида йўқотишлари мос равишда 6,08%, 3,8%, ни ташкил этди. Тизимни лойиҳалашда ишлатилган ФЭБ лар ўрнига ФИБ лар дан фойдаланиш иссиқ иқлим шароитларида ҳарорат ва деградация таъсиридаги йўқотишларни сезиларли камайтиришга эришиш билан бир қаторда, керакли қувватни олишда 16 та ФЭБ ўрнида 12 та ФИБ дан фойдаланиш мумкинлиги аниқланди, бу эса фотоэлектрик массив қурилишида кетадиган маблағларни камайтириш имкониятини яратади.

Адабиёт

1. M. Aliyu et al., A review of solar-powered water pumping systems, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 87 (2018) 61–76.
2. Jaydeep.V.R. Performance Evaluation of Grid-Connected Solar Photovoltaic Plant Using PVSYST Software. *Journal of emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, Vol. 2, pp. 372–378, 2015.
3. A. Mermoud, Pump behaviour modeling for use in a general PV simulation software, Presented at 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Paris, 7-11 June, 2004.
4. J.K. Kaldellis et al., Experimental validation of autonomous PV-based water pumping system optimum sizing, *Renewable Energy* 34 (2009) 1106–1113, Elsevier
5. O.A. Oyedokun, N. Achara, S.U. Muhammed, I.O. Oyefolahan, Design and Simulation of Solar Powered Water Pumping System for Irrigation Purpose in Kaduna, Nigeria, *Int. J. Sci. Eng. Technol.* 6 (10) (2017) 342–346.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

6. Р. А. Муминов, М. Н. Турсунов, Х. Сабилов, О. Ахатов, Т. Ахтамов, М. Эшматов. Эффективная автономная фотоэлектрическая установка подъема воды из глубинных колодцев для экстремальных условий. /“Яримўтказгичлар физикаси, микро ва наноэлектрониканинг фундаментал ва амалий муаммолари” I-Халқаро анжуман. Тошкент. 2021 йил, 28-29 октябрь.

7. Krishnakant, P S Kulkarni. Design and Simulation of Solar Photovoltaic Water Pumping System. 2020 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies | 978-1-6654-2536-0/21/\$31.00 ©2021 IEEE | DOI: 10.1109/ICEPE50861.2021.9404473.

8. M. Habibollahi, M. Ameri, S. H. Mansouri. Efficiency Improvement of Photovoltaic Water Pumping Systems by Means of Water Flow Beneath Photovoltaic Cells Surface. Journal of Solar Energy Engineering. Vol.137 August 2015.

9. Technical note; “Design of small Photovoltaic (PV) Solar- Powered Water Pump system”. Natural resources Conservation service, United States Department of Agriculture, October 2010. 4.

10. J. C. Wiles and D. L. King, "Blocking diodes and fuses in low voltage PV systems," in Photovoltaic Specialists Conference, 1997., Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE, 1997, pp. 1105-1108.

11. S.S. Chetan, “Solar photovoltaic fundamentals, Technologies and Applications” published by K. Ghosh, PHI New Delhi, Indian, 2009.

12. Suntiti Yoomak, Chaiyan Jettanasen and Atthapol Ngaopitakkul, Design of solar charger challenging various solar irradiance and temperature levels for energy storage. International Journal of Innovative Computing, Information and Control. Volume 14, Number 6, pp. 2071-2090. December 2018.

13. Muhammad Anser BASHIR, Hafiz Muhammad ALI, Khuram Pervez AMBER, Muhammad Waqas BASHIR, Hassan ALI, Shahid IMRAN and Muhammad Sajid KAMRAN. Performance Investigation of Photovoltaic Modules by Back Surface Water Cooling.

14. Tursunov M.N, Sabirov X, Abilfayziev Sh.N, Yuldoshov B.A. Testing of different material type photoelectric battery and photothermal batteries composed. Eurasian Physical Technical Journal, 2022, Vol.19, No.4(42).

15. М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, Т.З. Ахтамов, М. Эшматов, А. Жанузков. Переносная многофункциональная фототепловая установка для сельского жителя. // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари журнали 2022 йил №1. 119-126 б.

16. R. A. Muminov, M. N. Tursunov, X. Sabirov, T. Z. Axtamov, M. M. Eshmatov. Comprehensive Improvement of the Efficiency of a Mobile Photovoltaic Installation for Water Lifting Through the Use of Photothermal Batteries, Side Reflectors of Solar Radiation and Cooling Water from Deep Underground Aquifer. Applied Solar Energy, 2022, Vol. 58, No. 2, pp. 238–243.

*Физика-техника институти
томонидан тақдим этилган*

УДК 66.047

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУШЕНЫХ ПРОДУКТОВ**Г.Т. Дадаев, Ш.А. Султанова, Ж.Э. Сафаров**

Мақолада қуёш энергиясидан фойдаланиб қуритилган мева ва сабзавот маҳсулотларини олиши бўйича назарий тадқиқот олиб борилган. Қуритилган ўсимлик маҳсулотларини олиши учун қуёш энергиясидан фойдаланиши хусусиятлари ёзилган. Жаҳон миқёсда қуёш энергиясидан фойдаланиб илмий тадқиқотлар олиб борган олимларнинг ишлари таҳлил қилинган. Гелиоқуритиши қурилмаларининг турлари, тавсифлари ва иқтисодий самарадорлиги баён этилган. Радиацион, конвектив ва комбинацияланган гелиоқуритилмаларга батафсил тавсифлар берилган. Бундан ташқари технологик омиларнинг ўсимлик маҳсулотларини қуритиши жараёнига таъсири, термофизик хусусиятларга иссиқлик сизими, иссиқлик ўтказувчанлиги ва ҳарорат ўтказувчанлик коэффициентлари, физик – механика хусусиятларга эса ишқаланиши коэффициентлари таъсири тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Калит сўзлар: қуёш энергияси, радиацион, конвектив, комбинацияланган, гелиоқуритгич, ҳаво иситгич, ҳарорат, аккумуляциялаш, иссиқлик энергияси, иссиқлик-физик, намлик.

В статье было проведено теоретическое исследование по получению сушеных продуктов из фруктов и овощей с использованием солнечной энергии. Описаны особенности использования солнечной энергии для получения сушеных растительных продуктов. Проанализированы работы ученых, проводивших научные исследования с использованием солнечной энергии. Описаны виды, характеристики и экономическая эффективность гелиосушительных установок. Даны подробные описания радиационных, конвективных и комбинированных гелиоустановок. Кроме того, приведены данные о влиянии технологических факторов на процесс сушки растительных продуктов, влияния коэффициентов теплоемкости, теплопроводности и температурной проницаемости на теплофизические свойства, а коэффициентов трения - на физико-механические свойства.

Ключевые слова: солнечная энергия, радиационные, конвективные, комбинированные, гелиосушитель, воздухонагреватель, температура, аккумуляция, тепловая энергия, теплофизический, влага.

In the article, a theoretical study was conducted to obtain dried products from fruits and vegetables using solar energy. The features of the use of solar energy for the production of dried plant products are prescribed. The work of scientists around the world who conducted scientific research using solar energy is analyzed. The types, characteristics and economic efficiency of solar drying plants are described. Detailed descriptions of radiation, convective and combined solar installations are given. In addition, data on the

influence of technological factors on the drying process of plant products, the coefficients of heat capacity, thermal conductivity and temperature permeability on thermophysical properties, and the coefficients of friction on physical and mechanical properties are given.

Key words: *solar energy, radiation, convective, combined, solar dryer, air heater, temperature, storage, thermal energy, thermophysical, moisture.*

Фрукты и овощи как правило, содержат до 90% воды, 9,5% различных органических соединений и 0,5% минеральных веществ. Высокое содержание влаги приводит к тому, что фрукты и овощи легко поражаются фитопатогенными микроорганизмами, и сохранность урожая является сложной организационной и технической задачей. В основном фрукты и овощи потребляются населением в свежем виде, и только часть продукции отправляется на переработку и хранение. Несколько хуже дело обстоит с плодоовощными консервами, в том числе и с сушеными плодами и овощами. Их производство на душу населения составляет в 100 и более раз ниже расчетных норм потребления. От общего объема произведенных плодов и овощей на переработку идет не более одного процента.

Кроме того, этот показатель также зависит от потерь урожая при уборке и хранении. По данным исследований, уже на стадии заготовки урожая а в дальнейшем при его хранении, потери овощной продукции близки к 20 - 25 %, потери фруктов достигают 15-18 %. Исходя из этого, наряду со многими способами хранения и переработки плодоовощной продукции, вопросы применения сушки продукции можно отнести к весьма актуальным задачам [1].

Кроме традиционных методов сушки плодоовощного сырья современные технологии основаны на теплоносителях, полученных путем сжигания жидкого и газообразного топлива. С учетом того, что дефицит энергоносителей и их стоимость в последние годы является актуальной проблемой в обществе, использование возобновляемых источников энергии (ветровое, солнечное и др.) получает широкое распространение и развитие. В Республике Узбекистан, в частности в сельской местности, данная проблема имеет исключительно важное значение, так как стоимость энергоносителей для товаропроизводителей очень высока. Высокая стоимость топливно-энергетических ресурсов заставляет решать вопросы использования возобновляемых источников энергии в комплексе с автономными средствами для сушки фруктов и овощей [2].

В настоящее время, в связи с переходом на мелкотоварные хозяйства и агрофирмы, товаропроизводителям становится экономически целесообразным хранить и перерабатывать плодоовощную продукцию непосредственно в своих хозяйствах. Это позволяет решить многие вопросы логистики и менеджмента, осуществлять переработку продукции и его торговлю в наиболее благоприятных условиях формирования определенной конъюнктуры и ценовой политики.

Исходя из этого, производство сухофруктов непосредственно в самих хозяйствах также можно отнести к наиболее экономичным технологиям с низкими затратами. Например, затраты на сушку с применением солнечной энергии более чем в два раза ниже затрат на консервирование 1 т плодов. Кроме того сушеные фрукты и

овощи содержат необходимые для нормальной жизнедеятельности организма человека легко усваиваемые сахара (сахароза, глюкоза, фруктоза), минеральные и органические вещества, витамины и кислоты.

Внедрение новых технологий и техники, является важнейшим способом повышения эффективности работы сушильных агрегатов и повышением качества обрабатываемого материала. Традиционно, организация технологических процессов сушки продуктов осуществляются путем использования энергоемких сушильных установок, которые потребляют традиционные виды энергии. Поэтому бережное отношение к топливным энергетическим ресурсам является важной государственной и стратегической задачей [1-3].

1. Особенности использования солнечной энергии для получения сушеных продуктов растительного происхождения.

Устройства, предназначенные для сушки влажных материалов с использованием солнечной энергии путем преобразования ее в тепловую энергию, можно разделить на две основные группы: установки с концентрирующими устройствами и парниковые гелиосушилки.

В первой группе установок солнечная радиация к высушиваемому материалу подводится с различной кратностью концентрации, зависящей от вида концентрирующих устройств [3]. Данные типы установок применяются при высокотемпературных режимах сушки.

Наиболее широкое применение в области сушки сельхозпродуктов нашли гелиосушилки, основанные на использовании принципа «горячего ящика» [4 - 5]. В зависимости от способа энергия подвода к высушиваемому материалу они подразделяются на:

1. Радиационные.
2. Конвективные.
3. Комбинированные.

В конвективных гелиосушильных установках высушиваемый материал воспринимает тепло от воздуха, нагретого в гелиовоздухонагревателях. Солнечные радиационные сушильные установки представляют собой единый агрегат, в котором высушиваемый продукт размещают непосредственно под воздействие солнечной радиации, т. е. основная доля энергии подвода к материалу осуществляется радиационным способом. Комбинированная гелиосушилка представляет собой сочетание двух типов установок.

В начале тридцатых годов прошлого века по проекту Среднеазиатского гелиотехнического института (город Самарканд) была построена солнечная фрукто-сушильная установка камерного типа. Она представляла собой вытянутую по длине прямоугольную кожух-камеру, на одном торце которой имелась загрузочная дверца. Через этот вход въезжали вагонетки с фруктами; на другом конце туннеля была установлена вытяжная труба, для отвода увлажненного воздуха с помощью вентилятора мощностью 155 Вт. По всей длине камеры был проложен рельсовый путь. Горячий воздух для сушки вырабатывался в двух воздухонагревателях, представляющих собой простые установки оранжерейного типа с двойным

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

остеклением, расположенные по обе стороны камеры и соединенные с ней трубопроводами.

В работе [7] описывается солнечная фруктосушильная установка парникового типа, состоящая из опорных кирпичных столбов с прогонами, по которым уложены стропила с углом наклона 20° к горизонту. Фрукты, прошедшие предварительную обработку, раскладываются на решетке из расчета 10 кг сырых фруктов на 1 м^2 поверхности и вводятся под стекло, где идет процесс сушки.

В работе [8] описывается небольшая комбинированная сушилка для овощей и фруктов с дополнительным воздухонагревателем. Однако, такие вопросы, как определение оптимального режима эксплуатации солнечных фруктосушильных установок и технико-экономические характеристики предлагаемой установки в работах не рассматривались.

Гелиосушилка А.В. Барзунова выполнена из прозрачной органической пленки. В целях уменьшения тепловых потерь нижняя часть сушилки покрыта алюминиевым листом. Для улучшения теплообмена воздуха установка выполнена по ступенчатой схеме. Гелиосушилка оснащена патрубком для подачи воздуха и вытяжной трубкой.

Продукция подсушивалась в сушильной камере до 45-50% влажности, затем плоды помещались на хранение под навес, а спустя некоторое время проводилось его досушивание. Повышение производительности установки достигалось путем удаления слабоосвещенной влаги в начале сушки. При этом на каждый килограмм испарившейся влаги расходовалось около 3350 - 4200 кДж тепла, КПД установки составлял 55-60%. По мере увеличения энергии связи влаги с продуктом, удельный расход тепла на испарение 1 кг влаги увеличивался, и в конце процесса он составлял 9210 кДж/кг.

В процессе хранения подсушенного сырья влага за счет градиента влажности из центральных слоев продукта перемещается к периферии. Внешний сухой слой, образовавшийся в процессе сушки, вновь увлажняется за счет влаги из центра и тем самым, уменьшается диффузионное сопротивление. Кроме того, в результате усадки продукта в процессе сушки, а также увеличения механической прочности при укладке для повторного досушивания, можно увеличить удельную нагрузку на единицу площади в 3 - 4 раза.

В работе [9] приводятся результаты испытаний и исследований по созданию оптимальных конструкций гелио воздухонагревателей для сушки некоторых сельхозпродуктов. Анализ полученных результатов показывает, что необходимо уделить внимания на изучения температурного режима работы солнечных воздухонагревателей и оптимизацию их размеров.

В настоящее время наибольшее количество установок для сушки зерна, кукурузы, зеленых кормов и сена с использованием солнечной энергии действует в США, ФРГ, Швейцарии, Италии, Франции и других странах [10]. В национальной лаборатории гражданского строительства Лиссабона проводилась экспериментальная солнечная сушка чернослива и винограда. Сушка производилась в открытых условиях в солнечной сушилке, представляющей собой вытянутую прямоугольную камеру, покрытую сверху пластмассовой пленкой для пропускания солнечного света.

В начале и в конце камеры помещались устройства для нагрева воздуха солнечной радиацией, в середине - сетчатые сита с фруктами. Для удаления увлажненного воздуха из камеры предусматривалась вытяжная труба с электрическим вентилятором.

М.Аккурт и М.К.Селкун описывают конструкцию, использующую солнечную энергию с применением вспомогательной нагревательной системы, питаемой сжиженным газом. В данном способе сушки достигается высокое качество продукции и значительная экономия энергии.

М.Тоучис указывает, что природно-климатические условия Греции позволяют для сушки продуктов использовать солнечную энергию. Это экономически целесообразно для установок, работающие при температуре не выше 60°C. При этом имеются в виду обычные гелиосушилки, аналогичные установкам стационарного типа со стеклянным покрытием. Для уменьшения стоимости фрукта сушильных установок автор рекомендует использовать крыши зданий.

Т.А.Лаванд описывает солнечную фруктосушильную установку камерного типа с естественной циркуляцией теплоносителя. Общее время сушки сокращается более чем наполовину, обеспечивается более высокое качество продуктов по сравнению с обычной сушкой на открытой площадке.

Естественная циркуляция сушильного агента несколько ограничивает производительность конвективных сушилок, так как не обеспечивает интенсивного проникновения теплоносителем слоя фруктов.

В работе [11] описывается конструкция солнечной сушилки производительностью 770 кг/день при снижении влажности продукта с 30 до 18%. Нагреваемый воздух (поверхность нагрева 448 м²) направляется вентилятором в туннель где обрабатываемые фрукты расположены на тонких буковых планках. Контрольная сушка на воздухе показала значительное повреждение фруктов, в то время как в солнечной сушилке плоды абсолютно невредимы.

В г. Фреено (Калифорния, США) работает сушильная установка площадью 1951 м² [12]. Теплоаккумулятор установки содержит 700 тонн щебня и может отдавать запасенную теплоту для сушки в течение 24 часов. Комбинированная система удовлетворяет 80% потребностей в тепле. В США, западным региональным центром в Беркли разрабатывались способы сушки винограда с использованием солнечных коллекторов [12, 13].

Профессор Дагамэ [14,15] собрал сведения из 142 фирм, занимающихся гелиосушкой. Причем, большинство гелиосушилок предназначено для сушки сельхозпродуктов. Анализ конструктивных особенностей установок показывает, что все они прерывистого действия. Это обусловлено требованием простоты при создании гелиоустановок, в то время как непрерывный процесс требует механизации движения тележек с продуктами, что ведет к определенному усложнению конструкции. Абсолютное большинство установок не оборудовано системой аккумулирования тепловой энергии, которая дорогостоящая и не всегда надежная. В единичных устройствах в качестве аккумуляторов используются емкости, заполненные галечником. Во многих установках применяется принудительная

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

циркуляция. Имеются схемы гелиосушилок с рециркуляцией воздуха, а также с топливным дублером, причем использование последнего неукоснительно сказывается на стоимости установки, одновременно увеличивая эффективность ее использования.

В настоящее время главная проблема сушки сельхозпродуктов, это - высокие затраты энергии, снижение которых возможно при следующих условиях:

1. Оптимизация процесса.
2. Разработка более прогрессивных методов сушки и технических средств для их осуществления.
3. Замена дорогостоящих источников энергии на альтернативные дешевые виды, в частности, на энергию солнца.
4. Оптимизация конструктивных схем гелиосушки.

2. Влияние технологических факторов на процесс сушки продуктов растительного происхождения.

Совершенствование и интенсификация процессов тепловой обработки невозможно без знания свойств материалов, подвергаемых к сушке. Известно, что основная часть удаляемой влаги является свободной, а остальная часть до 20% и более - связанной. Вид связанной влаги подразделяется на капиллярную, адсорбционную, химическую и осмотическую.

Продукты растительного происхождения, в частности фрукты овощи и бахчевые культуры содержат высокомолекулярные и белковые вещества, длительное воздействие высоких температур на которые может привести к необратимым изменениям и ухудшению качества получаемого продукта. В связи с этим, важное значение имеет показатель термической устойчивости рассматриваемого материала оценивающий максимально допустимую температуру и время температурного воздействия, при котором не происходит денатурации (расщепления) белков [16]. Для обоснованного выбора конструкции, технологического режима и конструктивных материалов, при разработке и изготовлении устройства для тепловой обработки необходимо иметь данные о временно-температурных характеристиках начала тления и возгорания продуктов переработки, а также способность их к пригоранию на поверхностях теплоотдачи.

К теплофизическим свойствам следует отнести коэффициенты теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности, а к физико-механическим свойствам - коэффициенты трения. Эти показатели изменяются в большинстве случаев от влажности, температуры и плотности обрабатываемого материала, а коэффициенты трения также зависят от вида и обработки материала поверхности трения.

Все константы теплофизических характеристик от температуры возрастают. Причем, коэффициент температуропроводности ближе к линейному закону, хотя является кривой второго порядка. Это явление можно объяснить тем, что влага внутри материала выполняет теплопередачу равномерно по линейной зависимости. График теплопроводности от температуры сначала резко возрастает и в пределах 90 С° достигает своего максимального значения, и далее убывает. Это объяснимо тем, что с нагревом влаги в порах материала при повышенных температурах (выше 90 С°)

появляется воздушное пространство, которое слабо проводит тепло.

Теплоемкость от температуры слабо возрастает, а с ростом температуры подчиняется линейному закону. Однако в пределах эксперимента оптимальная точка не наблюдается.

При выборе оптимального режима сушки и рациональной конструкции аппарата, в первую очередь, следует обеспечить условия, необходимые для получения требуемых технологических свойств высушиваемого материала. Эта задача связана с нахождением нестационарных полей влагосодержания и температуры в процессе сушки любого продукта, т.е. решением системы дифференциальных уравнений влага и теплопереноса. Если для температуры и массы содержания ввести одинаковые обозначения, то уравнения по своему внешнему виду не будут отличаться друг от друга. Сравнивая можно видеть, что коэффициент диффузии аналогичен коэффициенту температуры проворности. Очевидно, если условия однозначности аналогичны, то все решения дифференциального уравнения теплопроводности как для стационарного, так и для нестационарного процессов могут быть использованы для расчета концентрационной диффузии.

Сушильное устройство выполнено с возможностью поворота посредством опорных колес, размещенных на основании установки. На наружной поверхности сушильной камеры размещено покрытие, выполненное из теплоизолирующего материала. Предлагаемая установка работает следующим образом. В дневное время солнечные лучи проходят через экран, через слой парниковой защиты, нагревают воздух в гелиовоздухонагревателях сушильной камеры и аккумулятора тепла. Теплый воздух поступает в сушильную камеру, где используется для сушки сырья, а обработанный воздух поступает в воздуховод и выводится наружу из под зонта.

Для обоснования конструкции сушильной установки соответствующими размерами и параметрами следует их найти путем расчета и вычисления по результатам теоретических или экспериментальных исследований.

Теоретическое обоснование технологических и конструктивных параметров сушильного агрегата позволяет сократить затраты на экспериментальные исследования и время на проектирование.

Испаряемая влага из материала первоначально поступает в воздушное пространство внутри слоя, а затем под воздействием циркуляции переходит вне слоя и далее в окружающую среду. Подвод энергии к высушиваемому материалу может осуществляться различными способами, как конвективным, радиационным комбинированным.

Влажный материал, подвергаемый к сушке в гелиосушилке, представляет собой коллоидное капиллярно-пористое тело, влага в котором связана различными формами связи.

Наименее прочной связью обладает влага, находящаяся в микропорах и капиллярах материала. При ее удалении процесс испарения может быть рассмотрен как испарение влаги со свободной поверхности воды, когда влага находится на уровне поверхности испарения, т.е. совпадает с поверхностью тела. При расчете сушильной установки очень важным этапом является составление теплового и

материального баланса.

При составлении материального баланса определяется количество удаленной влаги из сухого материала, полученного в результате тепловой обработке. Также, с помощью материального баланса определяется расход сушильного агента.

Однако при математическом моделировании течений вязкой жидкости часто встречаются задачи, в которых на участках границы рассматриваемых областей нормальные компоненты скорости не заданы, т. е. заранее непосредственно определить расход через входные и выходные сечения невозможно. Типичные примеры таких задач приведены, например, в работах [17,18].

В работе [19] рассматривается течение вязкой жидкости в круглой цилиндрической трубе переменного сечения. Жидкость движется под действием приложенного к концам трубы перепада давления. В качестве примера приведены решения для стационарного и гармонического перепада давления.

В работе [20] рассматривается гидродинамика периодического течения жидкости с перевернутой симметрией в оребренном канале. Поскольку коэффициенты теплоотдачи гладких каналов малы, для увеличения теплоотдачи контактных теплообменников обычно используются ребра на твердых поверхностях канала, увеличивающие площадь теплообмена и улучшающие перемешивание. В работе [20] течение считается ламинарным.

Основными геометрическими параметрами предлагаемой сушилки являются высота, площадь камеры и размеры вытяжной шахты.

Эти показатели влияют на производительность сушилки и ее эффективность работы. Поскольку многие параметры сушилки имеют функциональную зависимость, следует задавать некоторые параметры самим, чтобы найти другие. Расчет сушилки основан на естественной вентиляции. Естественная вентиляция камеры основана на разности давления наружного и внутреннего воздуха [18, 20].

Заключение. Сушка является одним из основных путей снабжения населения плодоовощными продуктами в период отсутствия свежих продуктов. Традиционная сушка плодов и овощей имеет более высоко затратные технологии и технологические средства с использованием жидкого, газообразного топлива и электрической энергии. Более перспективным для сушки является использование солнечной энергии, которая имеет низкие затраты, качественные показатели сушеных продуктов овощей и плодов, относится к экологическому способу производства, однако имеет низкую производительность. Для повышения интенсификации гелиосушки следует проводить более глубокое изучение физико-механических и теплофизических свойств сырья, совершенствование процесса сушки путем использования современных методов исследования.

Литература

1. Интенсификация процесса сушки продуктов растительного происхождения с использованием солнечной энергии: автореф. ... канд. техн. наук. – Алматы, 2015.

2. Исмаилова А.А. Возможности использования солнечной энергии для сушки фруктов и овощей / Использование солнечной энергии. - М.: 1957. - С.232-247.
3. Силич А.А., Николаева Д.А., Урсу В.А. Технология сушки винограда в туннельных сушилках // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1976. - №3. - С.19-22.
4. Артыков С. Исследование технологии гелиосушки табака в условиях Средней Азии: автореф. ... канд. техн. наук. –Краснодар, 1982. -20 с.
5. Волков Д.В. Гелиосушилка и применение ее для замаривания и сушки коконов. – Ташкент, 1987. -18 с.
6. Исмаилова А.А. Возможность использования сочетания солнечной энергии для сушки овощей и фруктов / Использование солнечной энергии. -М.: АН СССР, 1957. – С. 232-247.
7. Бабаев Б.Д., Волшаник В.В. Исследование процессов сушки материалов в гелиосушилке для фруктов и овощей // Международный технико-экономический журнал. -2012. -№2. -С. 76-83.
8. Петухов Б.В. Солнечная энергия и возможность ее использования. –М.: Знание, 1952. -23 с.
9. Петухов Б.В. Метод расчета солнечных водонагревателей // Использование солнечной энергии.- М.: АН СССР, 1957. - № 1.- С.177-201.
10. Исаченко В.П., Осипов В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1975. – 486 с.
11. Muhhlbaner W. Gerteide und Maistocknung mit Sonnenenergie // Agrartech. Internat. - 1977. - № 5(57). -S.58-60.
12. Raisin reincoats beat the heat // merican fruet Grower.-1985. - №5.-P.22-32.
13. Pat. 4 157 620 USA. Jonafhat fruit .-1979.
14. Niles P.W., Carnegie E.J., Pohl J.G., Cherne J.M. Design and performance of an aircollector for industrial croop dehydration // Solar energy. – 1978. - №1(20). -P.19-23.
15. Gost P.R. In Mand book of biophysics // Solar radiation. -1971. -P.14-30.
16. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов.- М.: Пищевая промышленность, 1976. -247 с.
17. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. -М.: Мир, 1980. – 616с.
18. Келкар К.М., Патанкар С. Численный расчёт течения и теплоотдача в канале между параллельными пластинами с попеременным оребрением противоположных пластин//Теплопередача. -1981. -№1. - С. 24-30.
19. Урмашев Б., Данаев Н. О сходимости итерационных процессов для решения сеточных уравнений Навье-Стокса//Поиск. -Алматы, 2000. -№3.- С.174-181.
20. Урмашев Б.А. Численное решение одной задачи тепловой конвекции // Вестник КазГУ. - 2000. -№1(20). -С.162-170.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 620.92, 620.98

ҲУДУДНИНГ ЎЗИГА ХОС БИОИҚЛИМИЙ ШАРОИТЛАРИНИ ҲИСОБГА
ОЛГАН ҲОЛДА САМАРАЛИ ПАССИВ ЭНЕРГИЯ ТАЪМИНОТИ
СТРАТЕГИЯЛАРНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

Н.Р. Авезова, А.М. Мирзабаев, Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова,
М.Х. Дехқонова

Маълумки республикада мавжуд ҳамда қурилиши режалаштирилаётган бино ва иншоотлар энергия таъминоти тизимларининг камида 30% қайта тикланувчи энергия манбалари ҳисобидан қоплаш масаласи давлатимиз раҳбари томонидан 16.02.2023 йилда имзоланган ПҚ-57-сон Президент Қарорида ўз аксини топган. Республикамиз олим ва муҳандислари томонидан бино ва иншоотларни энергиясамарадор ва қуёш технологиялари асосидаги иситиши ва совутиши тизимларини қўлаш имкониятлари илмий асосланган, бироқ соҳада биноларда энергия сарфини бошқариши учун зарур меъёрий ҳужжатлар етарли эмас, бунинг учун эса мавжуд меъёрий ҳужжатларга, ШНҚ ва стандартларга асосли ўзгартиришлар киритилиши лозим. Жумладан “Пассив турар-жой бинолари” ШНҚ да ҳудудлар ўзига хос биоиклим зоналарига ажратилган бўлса-да, биоиклим шароити асосида биноларда энергия сарфини бошқариши учун мослаштириб бўйича сценарийлар ишлаб чиқилмаган ва келтирилмаган. Ҳалқаро тажрибада бино ва иншоотларнинг иситиши (совутиши) ва иссиқ сув таъминоти тизимларида фақатгина қуёш технологияларини қўлаш ҳисобига энергия сарфини 60% га камайтиришига эришиши кузатишган. Бу кўрсаткичларга эришиши учун ҳудудларнинг биоиклимий шароитларини ҳисобга олган ҳолда биноларни табиий иситиши ва совутиши билан таъминлаш мақсадида бино ичидаги қулай ҳароратни баҳолашга асосланган ва архитектуранинг иқлимга мослаши учун пассив лойиҳалаш стратегиялари таклиф қилинмоқда. Мазкур мақолада Пассив лойиҳалаш стратегияси воситаси сифатида Givoni диаграммаси (биоиклимий харита) талқини келтирилган ва Фарғона шаҳри мисолида ҳудуд олти иқлим зонасига: термал қулайлик, табиий шамоллатиш, юқори масса, тунги вентиляция билан юқори масса, буғланиши совутиши ва пассив иситиши ажратилган. Шунингдек, Givoni диаграммасидаги психрометрик катталикларни аниқлашнинг ўзига ҳос соддалаштирилган усули таклиф этилган.

Калит сўзлар: пассив биноларни лойиҳалаш стратегиялари, иқлимий ва актинометрик маълумотлар, биоиклимий зона, биоиклимий кўрсаткичлар, Givoni диаграммаси, пассив қуёший иситиши, буғланиши ҳисобига совутиши, табиий шамоллатиши зонаси, қулайлик зонаси, сунъий интелект, энергия сарфини бошқариши.

В соответствии с Указом Президента № УП-57 от 16.02.2023 в республике была выдвинута проблема обеспечения энергетическими ресурсами зданий и сооружений, включая уже существующие и планируемые к строительству, с

использованием энергии не менее 30% от возобновляемых источников энергии. Несмотря на проведенные учеными исследования, демонстрирующие перспективы применения энергоэффективных и солнечных технологий для систем отопления и охлаждения зданий, требуется внести соответствующие изменения в действующие нормативные документы, СНиПы и стандарты по части энергопотребления в зданиях. Несмотря на то, что в ШНК «Пассивные здания: жилые» регионы классифицированы по биоклиматическим зонам, аналогичные сценарии адаптации для управления энергопотреблением зданий, основанные на биоклиматических условиях, отсутствуют. Мировой опыт показывает, что использование солнечных технологий в системах отопления, охлаждения и горячего водоснабжения зданий может существенно снизить энергопотребление от энергосистем до 60%. В данной статье предлагается возможность использования диаграммы Givoni (биоклиматическая карта) в качестве инструмента пассивного проектирования. Определены шесть климатических зон для города Фергана: зона комфорта, зона естественной вентиляции, зона испарительного охлаждения, высокая тепловая масса, высокая тепловая масса и ночная вентиляция, пассивное отопление. В статье предложен уникальный упрощенный метод определения психрометрических параметров на диаграмме Givoni.

Ключевые слова: стратегия проектирования пассивных зданий, климатические и актинометрические данные, биоклиматические зоны, биоклиматические показатели, диаграмма Givoni, пассивное солнечное отопление, испарительное охлаждение, зона естественной вентиляции, зона комфорта, искусственный интеллект, управление энергопотреблением.

It is well-known that the issue of supplying buildings and facilities in the republic, both existing and planned for construction, with at least 30% of their energy needs from renewable sources, was addressed in the Presidential Decree No. PD-57 signed on February 16, 2023. Scientists and engineers in our republic have scientifically substantiated the possibilities of applying energy-efficient and solar technologies for heating and cooling systems in buildings. However, the field lacks sufficient regulatory documents for managing energy consumption in buildings, necessitating amendments to existing norms, building codes, and standards. Although the "Passive residential buildings" Building Code divides regions into specific bioclimatic zones, scenarios for adapting energy management in buildings based on bioclimatic conditions have not been developed or presented. International experience shows that the use of solar technologies in heating (cooling) and hot water supply systems of buildings and facilities can reduce energy consumption by 60%. To achieve these indicators, passive design strategies based on assessing comfortable temperatures inside buildings and considering the bioclimatic conditions of regions are proposed, aimed at providing natural heating and cooling of buildings. This article presents the use of the Givoni diagram (bioclimatic map) as a tool for passive design and identifies six climate zones in the city of Fergana: thermal comfort, natural ventilation, high mass, night ventilation with high mass, evaporative cooling, and

passive heating. Additionally, a unique simplified method for determining psychrometric properties on the Givoni diagram is proposed.

Keywords: *passive building design strategies, climatic and actinometric data, bioclimatic zone, bioclimatic indicators, Givoni diagram, passive solar heating, evaporative cooling, natural ventilation zone, comfort zone, artificial intelligence, energy management.*

Кириш. Ҳозирги даврда дунё Париж келишувига риоя қилиш ва углерод чиқиндиларини камайтириш учун қайта тикланадиган энергия манбаларига фаол ўтмоқда [1]. Ушбу қадам, шунингдек, барқарор ривожланиш мақсадларига эришишга, хусусан, арзон ва барқарор энергиядан фойдаланишни таъминлашга қаратилган. Глобал энергия истеъмолнинг ўсишига қарамай, сўнгги 30 йил ичида углеродсиз энергия улуши 17-21% даражасида қолмоқда [2-4]. Иқлим шароити айниқса, иссиқлик инсон ҳаётига сезиларли таъсир кўрсатади. Ҳарорат, намлик ва шамол каби омилларни ҳисобга олган ҳолда биоиклимий кўрсаткичлар қулай яшаш шароитларини аниқлашда асосий рол ўйнайди. Географик маълумотлар ва сунъий интеллект воситаларидан фойдаланган ҳолда иқлим ўзгаришининг биоиклимий шароитларга таъсирини ўрганиш самарали қурилиш стратегиясини ишлаб чиқиш учун муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу, айниқса, мамлакатнинг турли минтақаларида иқлим шароитининг ўзгарувчанлигини ҳисобга олган ҳолда, биоиклимий кўрсаткичларни баҳолаш ва уларни қурилишда қўллашга мажмуавий ёндашув, аҳолининг яшаш шароити ва ҳаёт сифатини сезиларли даражада яхшилаши, минтақада ва умуман дунёда барқарор ривожланишга ҳисса қўшиши мумкин.

Маълумки, ҳозирда республика ҳудудлари шаҳарларида кишнинг қаҳратон совуқ ва ёзнинг жазирама иссиқ кунларида бино ва иншоотларда тартибсиз ва меъёридан ортиқча энергия ресурсларини сарфлаш натижасида ҳамда қурилиш ишларини мавжуд кўрсатилган инфраструктуравий тузилма (энергия тизимлари ва тармоқлари) юқламалари кўрсаткичларининг қўпол бузилши натижасида (ичимлик суви, иссиқ сув ва канализация, иситиш тизимлари, электр ва газ таъминоти) тизимда йирик микёсда бино ва иншоотлар энергия тармоқларида узилишлар содир бўлишига сабаб бўлиб келмоқда [5-7].

Мунтазам иқлим ўзгаришлари шароитида Пассив ривожланиш стратегиялари ўзининг узоқ муддатли ва барқарор таъсири билан ажралиб туради. Табиий жараёнлар ва ресурслардан фойдаланган ҳолда бундай ёндашувлар иқлимга салбий таъсирни камайтириш учун ишончли ечимларни тақдим этади. Пассив ривожланиш стратегияларининг асосий афзалликларидан бири бу иқлим ўзгаришларига мослашув учун интеграциялашган ёндашувдир, бу ерда иқлимга чидамли архитектура ва бошқа табиий жараёнлардан фойдаланилади [5,7].

Қуёш радиацияси, ҳарорат, намлик, ёғингарчилик ва шамол тезлиги ҳақидаги маълумотлардан фойдаланган ҳолда, биоиклимий шароитлар асосида ҳудудларнинг такомиллаштирилган қулайлик биоиклим зоналари модели яратилади [8-10]. Ушбу моделлар биноларнинг энергия самарадорлигини оптималлаштириш, сунъий иситиш ва совутишга бўлган эҳтиёжни камайтириш учун асос бўлади. Бунда тўлиқ ва қисман

кулай иситиш шароитлари бўлган ойлар, шунингдек, юқори ҳарорат ва намликда табиий шамоллатишнинг аҳамияти таҳлил қилинади. Шу билан бирга, баҳолаш бино ички ҳароратини махсус тартибга солишни талаб қиладиган юқори иссиқлик массаси бўлган ёзги даврларни таҳлил қилишни ўз ичига олади. Шунингдек, пассив иситиш ва совутиш тизимини қўллаш мумкин бўлган иситиш (совутиш) мавсуми ҳам алоҳида таҳлил қилинади [8-10].

Мавжуд ёндашувлар. ASHRAE томонидан ўрнатилган кулай (комфорт) ҳудуд кўрсаткичини аниқлашда, инсонларнинг турли иқлим шароитларига индивидуал мослашувини ҳисобга олмайдиган статистик ёндашувни қўллайди [8]. Тадқиқотлар шунини кўрсатадики, кондиционерсиз табиий шамоллатиладиган биноларда яшовчи одамлар, ёз кунда ҳароратнинг ўзгаришига кўпроқ мослашади [9]. Инсон атроф муҳитнинг қулайлик ҳиссини сезишига географик фарқлардан ташқари, бошқа омиллар ҳам таъсир қиладди. MacPherson қулайлик ҳиссига таъсир қилувчи 6 та асосий омилни аниқлади, жумладан, ҳаво оқими тезлиги, ўртача радиация ҳарорати, метаболик ритм, ҳарорат ва намликдан ташқари кийим даражаси [10]. У 19 та кўрсаткичдан иборат бўлган кўп ўлчовли қулайлик шкаласини таклиф қилди, уларнинг ҳар бири ушбу омиллардан бирини акс эттиради. Fanger таклиф этган кенг қамровли модел атроф-муҳит ўзгарувчанлиги, фаоллик даражаси ва кийимни ҳисобга олади [11]. Ушбу модел барқарор шароитда университет муҳитида ёшлар билан тажрибада синовдан ўтказилди. Fanger томонидан тахмин қилинган ўртача балл (ПМВ) иссиқлик қулайлигини босқичма-босқич ифодалаш учун ASHRAE шкаласига ўхшаш, лекин 1 дан 7 гача бўлган ASHRAE шкаласидан фарқли ўлароқ 3 дан 3 гача бўлган етти балли шкаладан фойдаланади. Ушбу моделда, 6 та қулайлик омили 7 талик шкала даражаси билан боғлиқ бўлиб, унда “Башорат қилинган ўртача балл” омили маълум бир муҳитда ўзларининг термал қулайликларини ифодаловчи катта аҳоли сони томонидан баҳоланган балларнинг ўртача башоратини ифодалайди.

Иситиш ва совутиш юкламалари билан боғлиқ бўлган даража-кун усули вақт бўйича йиллик йиғинди ҳарорат сифатида аниқланади [12]. Ушбу усул ички ҳароратининг мувозанат нуқтасини ўрнатади ҳамда иситиш ва совутиш учун даража-кун қийматларини бериб, бу ҳарорат ва йил давомидаги ўртача кунлик ташқи ҳарорат ўртасидаги фарқни ҳисоблаб чиқади. Бу, айниқса, битта ҳудудда йиллик юкламаларни солиштириш учун фойдалидир.

Olgyay диаграммаси ўртача даражадаги қалинликдаги кийим-кечакларга эга одамлар яшовчи ички муҳитлар учун 20 дан 30°C гача бўлган доимий қулайлик даражасини назарда тутадиган моделдир [13]. У ўртача радиация ҳарорати ва шамол тезлиги каби иқлимий омилларни, шунингдек, ижтимоий мослашувни бирлаштирган қулайлик зонасининг марказий қийматларини ҳисобга олади. Қулайлик зонасининг пастки чегарасидан 10°C гача бўлган ҳароратда қулайликни сақлаб қолиш учун қуёш нурланишидан фойдаланиш керак. Худди шундай, зонадан 10°C юқори ҳароратда шамол тезлиги ҳароратнинг ошишини баргараф этишга ёрдам беради. Буғланишли совутиш ҳам юқори ҳароратларда ва паст намликда қулайликни сақлаш учун ишлатилади. Бирок, Olgyay диаграммаси чекланган, чунки у асосан ички ва ташқи

шароитлар ўртасидаги фарқ минимал бўлган иссиқ, нам иқлим учун қўлланилади ва физиологик жиҳатларни ҳисобга олмайди [12].

Машҳур биоиклим диаграммаларидан яна бири Givoni диаграммаси ҳисобланади [9,14]. Бу ҳарорат амплитудаси ва ташқи ҳавонинг сув буғлари босими ўртасидаги чизикли муносабатга асосланган. Givoni диаграммаси ташқи иқлим шароитига қараб мос совутиш усулини аниқлайди. Givoni диаграммаси олти зонани аниқлайди: термал қулайлик, табиий шамоллатиш, юқори масса, тунги вентиляция билан юқори масса, буғланишли совутиш ва пассив иситиш.

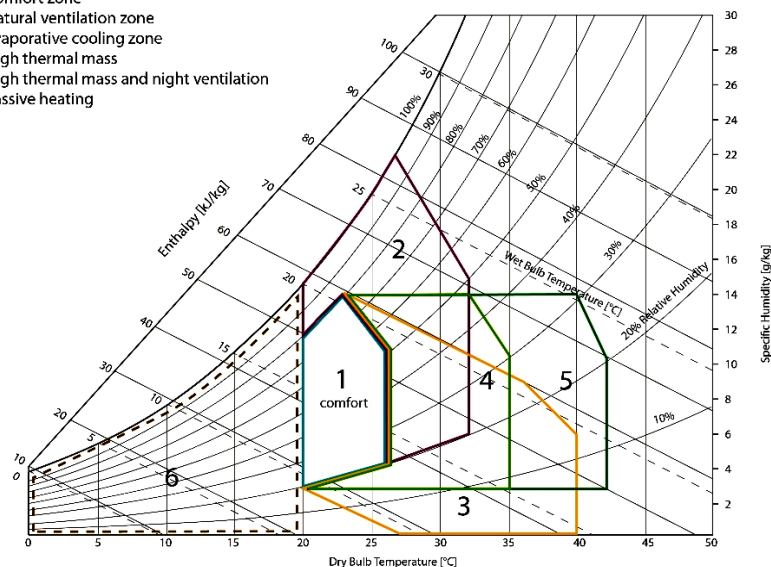
Givoni диаграммаси. Биноларни пассив лойиҳалаш стратегиялари иқлим шароитларидан келиб чиқилади, чунки у айнан иқлим шароитлари ва қулай шароитлар орасидаги фарқ, шунингдек бу фарқнинг сабаблари биноларни лойиҳалашда мос келувчи чораларни кўриш заруратини юзага келтиради. Бунда мақсад иситиш ёки совутишнинг сунъий тизимларидан фойдаланмасдан мавжуд фарқни имкон қадар камайтиришдир. Пассив лойиҳалаш стратегияларини ишлаб чиқишнинг бир воситаси Givoni диаграммаси (биоиклимий харита) бўлиб, у бино ичидаги қулай ҳароратни баҳолашга асосланган ва архитектурани иқлимга мослаш учун лойиҳалаш стратегияларини таклиф қилади [9, 14]. Юқоридагилардан келиб чиқиб, Givoni биоиклимий харитасининг асоси сифатида психрометрик диаграмма ишлатилади, унда муайян ҳудуд учун ҳарорат ва намлик маълумотлари (ойлик, кундалик ёки соатлик) кўрсатилган. Givoni биоиклимий харитасидан фойдаланишнинг энг ишончли усули – бу унга ҳар соатдаги маълумотларни қўйишдир, чунки ўртача кунлик ва ойлик қийматлар аслида ҳарорат ва намликни жуда катта даражада мувофиқлаштиради ва энг ноқулай шароитлар ҳатто тез-тез бўлса ҳам қайд этилмайди. Масалан, кунлик катта ўзгаришлар билан иқлимда ҳарорат ва намликнинг ўртача кунлик ёки ойлик қийматлари аслидаги иқлим шароитларини нотўғри акс эттиради, бу эса кейинги қулайлик даражаси ва шунга мувофиқ лойиҳалаш стратегияларига таъсир қилади. Givoni биоиклимий харитаси ташқи ҳаво иқлим шароитига қараб мос равишда совутиш ёки иситиш усулини аниқлайди.

Givoni диаграммасининг бир неча турлари мавжуд бўлиб, улар маълум иқлим шароитларига мослаштирилган ва кўплаб стратегияларни ўз ичига олади. Иқлим маълумотлари базаси билан биргаликда, диаграмма ҳарорат ва намлик қийматларини графикда кўрсатиб, энг яхши стратегияларни таклиф қилади ва ҳар бир стратегия учун мувофиқ қулай шароитларни яхшилашни кўрсатади. Givoni диаграммасида пассив лойиҳалаш стратегиялари учун олти зона белгиланган (1-расм):

1. Қулайлик зонаси;
2. Табиий шамоллатиш зонаси;
3. Буғланиш орқали совутиш зонаси;
4. Юқори иссиқлик массаси;
5. Юқори иссиқлик массаси ва тунги шамоллатиш;
6. Пассив иситиш.

Givoni's bioclimatic chart

1. Comfort zone
2. Natural ventilation zone
3. Evaporative cooling zone
4. High thermal mass
5. High thermal mass and night ventilation
6. Passive heating



1-расм. Givoni диаграммасига асосан тузилган биоиклимий зоналар

Иқлим маълумотлари (атроф-муҳит ҳарорати ва нисбий намлик) диаграммага бевосита қўйилиши мумкин, бу орқали шартларнинг диаграмманинг қайси олти зонасига тушишини текшириш мумкин. Зоналар диаграммада куйидаги шартлар асосида белгиланади.

1. *Қулайлик зонаси:* Бу зонада белгиланган шартларда одам бино ичида термал қулайлик шароитида бўлиши кўзда тутилади. Термал қулайлик шароити одатда турлича нисбий намлик чегараларида (20% дан 80% гача) ва ҳаво ҳароратида (20°C дан 26°C гача) бўлиши мумкин. Агар бино ичидаги ҳаво ҳарорати 20°C га яқинлашса, шамол таъсирини олдини олиш керак, чунки бу ноқулайликни келтириб чиқариши мумкин. Ҳаво ҳарорати 26°C га яқинлашганда, бинога куёш нурларининг кириб келишини назорат қилиш керак, чунки бу ортикча исиб кетишга олиб келиши мумкин.

2. *Табиий шамоллатиш зонаси:* Агар бино ичидаги ҳарорат 26°C дан ошса ёки нисбий намлик етарлича юқори бўлса, табиий шамоллатиш термал қулайликни яхшилашга ёрдам бериши мумкин. Бино ичидаги ҳаво тезлигининг максимал рухсат этиладиган тезлиги тахминан 2 м/с ни ташкил қилади, шу тариқа шамоллатиш ташқи ҳаво ҳароратининг чегара қиймати 32°C гача бўлган қулайликни сақлаб туради. Агар ҳарорат 26°C дан анча ошса ва нисбий намлик 50% дан паст бўлса, кечқурунги совитиш кундузги шамоллатишдан кўра самаралироқ бўлиши мумкин. Бундай шароит иссиқ курғоқчил ҳудудларда содир бўлиши мумкин, у ерда кундузги ҳарорат 30°C дан 36°C гача, аммо кечки ҳарорат 20°C дан паст бўлади. Бу шароитларда кундузги шамоллатиш мос келмайди, чунки бу бинонинг ортикча исишига олиб келади. Энг яхши стратегия – кундузги вақтда шамоллатишни чеклаш, бу орқали

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

иссиқ ҳавонинг киришини камайтириш ва кечки шамоллатишдан фойдаланиб, салкинроқ ҳаво ёрдамида бино ичини совитишдир.

3. *Бугланиш орқали совитиш*: Ушбу усул ҳаво ҳароратини пасайтириши ва бир вақтнинг ўзида яшаш жойининг нисбий намлигини ошириши мумкин. Бугланиш орқали ички маконларни бевосита совитиш учун яхши шамоллатиш зарур, чунки бу сув буғи тўпланишининг олдини олиш учун керак. Бугланиш орқали совитиш жараёнида ҳам ҳарорат, ҳам ҳаво намлиги доимий нам ҳарорат қиймати ва энталпияга мувофиқ ўзгаради. Иссиқлик миқдори ўзгармайди ва энергия фақат сезиларли энергиядан яширин энергияга айланади.

4. *Юқори иссиқлик массаси*: Бинонинг юқори иссиқлик массасидан фойдаланиш, ички хона ҳароратининг ташқи маконга нисбатан тебранишларини камайтириши мумкин, бу эса юқори ҳарорат чўққиларини пасайтиради. Бу ечим ҳарорат ва нисбий намлик иссиқлик массаси зонаси чегараларида бўлган жойларда муваффақиятли қўлланилиши мумкин. Ички макон ҳароратининг тенглаштирилиши куйидаги сабабларга кўра юз беради:

- Кун давомида бино конструкциясида тўпланган иссиқлик кечкурун, ташқи ҳаво ҳарорати пасайганда ички хонага чиқарилади;

- Бунга қўшимча равишда, иссиқлик конструкцияси кечаси совитилади ва куннинг катта қисми давомида салкин бўлиб қолади, бу эса кундузги ички макон ҳароратини пасайтиради. Қобикнинг иссиқлик массасидан фойдаланишдан ташқари, ернинг иссиқлик массасидан ҳам фойдаланилиши мумкин.

5. *Юқори иссиқлик массаси ва тунги шамоллатиш*: Иссиқлик массаси тунги шамоллатиш билан биргаликда пассив совитишни таъминлаш учун ишлатилиши мумкин. Кечаси ташқи ҳаво бино бўйлаб айланиб, қурилиш материалларини совитади. Конструкцияда сақланган совуқ масса кейинги кун учун иссиқлик чиқаришни қоплаш ва ҳароратни қулай чегараларга яқинроқ сақлаш имконини беради. Тунги шамоллатиш иссиқ-қуруқ иқлимда энг самарали бўлиб, у ерда суткалик ҳароратнинг фарқи катта ва кечкурун ҳарорати 20°C дан пастга тушади. Иссиқлик массаси ва тунги шамоллатиш механик совитишга бўлган эҳтиёжни камайтириш ёки бартараф этиш учун ишлатилиши мумкин. Бу ечим ҳарорат ва нисбий намлик шартлари ушбу зона чегараларида бўлган жойларда қўлланилади.

6. *Пассив қуёшлий иситиш*: Пассив қуёшлий иситиш энг совуқ мавсумда қуёшга қаратилган мос ўлчамдаги ойналар билан қурилган бинолар учун мос келади, бу ерда мавсумий ҳаво ҳарорати 20°C дан паст. Бинода иссиқлик йўқотилишининг олдини олиш учун иссиқлик ҳимоя қатламларидан фойдаланиш тавсия этилади.

Психрометрик жадвал ҳисоб-китоблари. Психрометрик жадвални ишлаб чиқишда ишлатилган тенгламалар ҳаво-буғ аралашмасининг идеал газларга яқинлигига асосланган [15-18]. Бу аппроксимацияда, атроф-муҳит ҳавоси икки асосий компонентлар аралашмаси сифатида кўрилади: қуруқ ҳаво ва сув буғи. Бу аралашманинг термодинамик хусусиятлари икки бошқа хусусиятлар билан белгиланиши мумкин. Лекин тенгламаларнинг бу параметрлар билан ўзаро боғлиқлигининг юқори нозизиқлийлиги сабабли, сонли усуллар психрометрик ҳисоб-китобларни бажаришда қўл келади. Кейинги функциялар тўплами абсолют

намлик (d : кг H_2O /кг курук ҳаво)га нисбатан курук термометр температураси (T : °C) асосида чизилади. Бу функцияларнинг тартиби ихтиёрий, ҳар бир функция алоҳида $d = f(T)$ нукталар тўпламидир, яъни, ҳар бир функция $d = f(T)$ сифатида аналитик ёки сонли равишда ифодаланиши мумкин.

Биринчи навбатда, хона ички температураси ($t_{ич}$) аниқланади, у эса ўз навбатида ташқи ҳаво температураси (t_0 – курук термометр температураси) ва ҳавонинг нисбий намлиги (φ)га боғлиқ ҳолда ҳисобланади:

$$t_{ич} = t_0 + \frac{5}{9} \left(6.112 \cdot \varphi \cdot 10^{\frac{7.5 \cdot t_0}{235 + t_0}} - 10 \right). \quad (1)$$

Ордината ўқига жойлаштирилладиган абсолют намлик d асосан сув буғининг парциал босми ($P_{сб}$)га боғлиқ бўлиб, у қуйидагича аниқланади:

$$d = \frac{0.6221 \cdot P_{сб}}{P - P_{сб}}, \quad (2)$$

ёки,

$$d = \frac{0.6221 \cdot \varphi \cdot P_{сб}}{P - P_{сб}}, \quad (3)$$

бу ерда, P -атмосфера босми (Па), φ -ҳавонинг нисбий намлиги (%).

Ўз навбатида $P_{сб}$ ни t_0 га боғлиқ ҳолда қуйидагича аниқлаш мумкин [18].

$$P_{сб} = 610,48 \cdot \varphi \cdot 10^{\frac{7.5 \cdot t_0}{235 + t_0}}. \quad (4)$$

Шудринг нуқтаси ҳарорати ($t_{шн}$) ҳам ҳавонинг ҳолат параметрларидан бири бўлиб, у (3) ва (4) ифодалар устида бир нечта амалларни бажаришдан сўнг ҳосил бўлган қуйидаги ифода орқали ҳисобланади:

$$t_{шн} = 235 \cdot \frac{lg\varphi + \frac{7.5 \cdot t_0}{235 + t_0}}{7.45 - (lg\varphi + \frac{7.5 \cdot t_0}{235 + t_0})}. \quad (5)$$

Энталпия i (кЖ/кг) ни ҳам t_0 ва d орқали аниқлаш мумкин:

$$i = 1.006 \cdot t_0 + d \cdot (2501 + 1.86 \cdot t_0); \quad (6)$$

ёки, (2) ифодани (6) ифодага қўйилса, қуйидаги ифодани оламиз:

$$i = 1.006 \cdot t_0 + 0.6221 \cdot (2501 + 1.86 \cdot t_0) \cdot \left(\frac{P}{P_{сб}} - 1 \right)^{-1}. \quad (7)$$

Нам термометр кўрсаткичи $t_{нт}$ ни (6) ифодадан фойдаланган ҳолда атмосфера босми $P=715$ мм.сим.уст. га тенг бўлган ҳолат учун қуйидаги аппроксимацион формула ёрдамида аниқланади:

$$t_{нт} = \begin{cases} -9.3542 + (0.0016 + 0.0199 \cdot A) \cdot A, & \text{агар } 10 \leq i \leq 37 \\ -30.8238 + 1.3051 \cdot A, & \text{агар } 37 \leq i \leq 112 ; \\ -26.1548 + 1.2081 \cdot A, & \text{агар } 112 \leq i \leq 175 \end{cases} \quad (8)$$

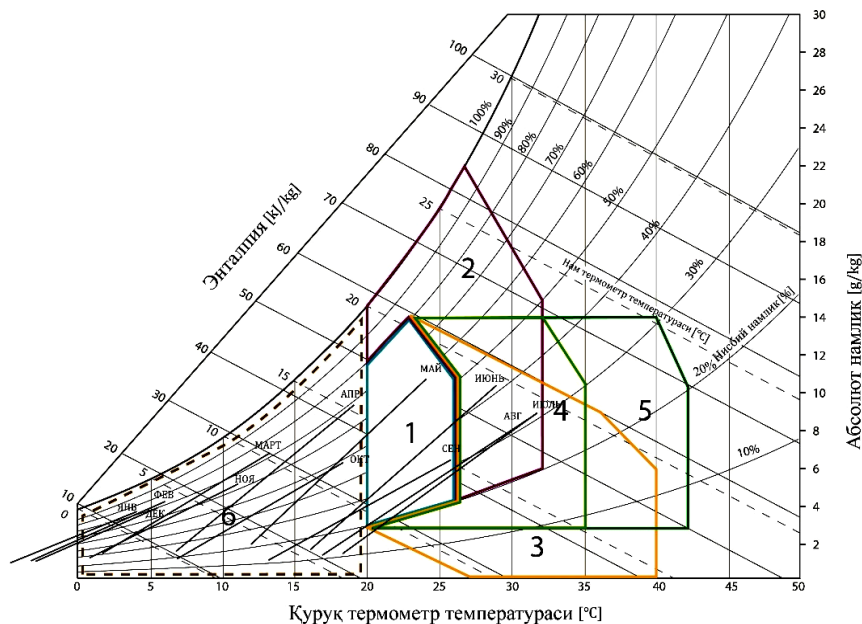
бунда $A = \sqrt[3]{i}$.

Олинган ҳар бир ифодани t_0 ва φ функцияси сифатида ифодаланган ҳолда Newton-Raphson сонли ечиш усулидан фойдаланган ҳолда, 1-расмда келтирилган диаграмма ўқларидаги катталикларни аниқлаш мумкин [19, 20].

Олинган натижалар таҳлили. Мазкур тадқиқот ишида, республика ҳудудларидан Фарғона вилояти, Фарғона шаҳрида жойлашган метеорологик станциянинг 2005-2022 йиллар оралиғидаги иқлимий ва актинометрик кузатувлари

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

маълумотлари таҳлили бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижаларидан фойдаланган [21] ҳолда, минтақада Givoni диаграммасини шакллантириш учун биоқлимий зоналари харитаси лойиҳаси ишлаб чиқилди (2-расм.)



2-расм. Фарғона шаҳри биоқлимий зоналари харитаси лойиҳаси

2-расм таҳлили шуни кўрстадики:

1. Фарғона шаҳри учун қулайлик зонаси йилнинг май ва сентябр ойларини тўлиқ ва шунингдек, қисман июн, июл, август ойларини қамраб олади, бунда инсон бино ичида иссиқлик қулайлиги ҳолатида бўлади.

2. Фарғона шаҳри учун табиий шамоллатиш зонаси қулайлик зонасига ўхшайди, агар хона ҳарорати 26°C дан ошса ёки нисбий намлик етарлича юқори бўлса, табиий шамоллатиш термал қулайликни яхшилаши мумкин. 2-расмдан кўришиб турибдики, табиий шамоллатиш йилнинг июн, июл ва август ойларининг баъзи кунларига тўғри келади.

3. Givoni диаграммаларида кўрсатилганидек, Фарғона шаҳри учун буғланиш совутиш зонаси йилнинг июн, июл ва август ойларининг алоҳида кунларини ўз ичига олади, бу ерда яшаш жойида нисбий намлик пасаймаслиги учун буғланиш йўли билан совутиш талаб этилади.

4. Фарғона шаҳри учун юқори иссиқлик массаси бўлган даврлар, республиканинг барча вилоятлари сингари, йилнинг июн, июл ва август ойларидир.

5. Тунги шамоллатиш талаб қилинадиган юқори иссиқлик массаси бўлган даврлар (тунги ҳарорат 20°C дан пастга тушиш ҳолати) йилнинг июн, июл ва август ойларининг баъзи кунларига тўғри келади.

6. 2-Расмда келтирилган шаклдан кўриниб турибдики, пассив куёш иситиш тизимларидан фойдаланиш учун самарали ойлар 15 октябрдан 30 ноябргача ва 1 мартдан 15 апрелгача бўлган даврда, шунингдек қисман декабр, январ ва феврал ойларини ўз ичига олади (Saligheh, M. 2004), (Авезов, Р.Р. ва бошқ. 2012) [15-18].

Пассив иситиш зонасида жойлашган биноларни тўғри лойиҳалаш ва куриш орқали қиш ойларида анъанавий иситиш тизимларидан фойдаланмасдан қулай шароитларни таъминлаш мумкин, бу эса ўз навбатида энергияни сезиларли даражада тежашга ва иссиқхона газлари чиқиндиларининг камайишига олиб келиши мумкин. Баъзи кунларда совуқ кечалар туфайли пассив тизимга фаол иситиш элементларини қўшиш лозим бўлади, лекин умуман олганда, қиш ойларида пассив тизимнинг ўзи қулай ҳолатни таъминлайди.

Совуқ мавсумда биноларни самарали пассив иситишни таъминлаш учун иссиқликни тўплаш ва ушлаб туришга қодир бўлган тош ва бетон каби конструктив элементлар ва материаллардан фойдаланиш мумкин. Таъкидлаш лозимки, бино архитектурасини режалаштиришда куёш нуридан тўғридан тўғри фойдаланиш миқдорини ошириш учун деразаларнинг тўғри йўналиши ва жойлашишини, шунингдек иссиқлик йўқотилишини камайтириш учун юқори сифатли иссиқлик химоя қатламларидан фойдаланишни ўз ичига олиши лозим. Бундан ташқари, шамоллатиш тизимига ақлли ёндашув, иссиқликни сақлаш ва ички ҳавонинг яхши сифатини таъминлаш имконини беради.

Хулоса. Фарғона шаҳрининг иқлим шароити таҳлили бир қанча муҳим жиҳатларни очиб беради ва шу асосда қуйидаги хулосалар чиқариш мумкин:

- йилнинг май ва сентябр ойларида термал қулайликнинг мақбул шартлари устунлик қилади, ёз ойлари (июн, июл, август) қисман қулайлик билан ажралиб туради, бу минтақа иқлимининг мавсумий ўзгарувчанлигини кўрсатади;

- табиий шамоллатиш, айниқса 26°C дан юқори ҳароратларда ва юқори намликда муҳим аҳамиятга эга ҳамда ёз ойларида самарали бўлади. Шунингдек, тадқиқотлар қулай намликни сақлаб қолиш учун ёзнинг маълум кунларида буғлатиб совутиш зарурлигини таъкидлайди;

- ёз ойларида ички ҳароратни тартибга солишга алоҳида ёндашувни талаб қиладиган юқори иссиқлик массаси бўлган даврларга эътибор қаратилади;

- таҳлил шуни кўрсатадики, пассив куёший иситиш 15 октябрдан 30 ноябргача ва 1 мартдан 15 апрелгача, шунингдек қисман қиш ойларида самарали бўлиб, муқобил иссиқлик манбасини таъминлайди.

Ва ниҳоят, тадқиқот пассив иситиш тизимларида тош ва бетон каби иссиқликни сақлашга қодир бўлган таркибий элементлардан фойдаланиш муҳимлигини таъкидлайди. Бунга куёш нурланишини ва юқори сифатли иссиқлик химоя қатламларидан фойдаланишни максимал даражада ошириш учун меъморий режалаштириш киради, бу энергия самарадорлигига ҳисса қўшади ва анъанавий иситиш тизимларига боғлиқликни камайтиради.

Юқорида айтиб ўтилганларни иқлим ўзгаришининг таъсирини ҳисобга олган ҳолда мамлакат минтақаларидаги биоиклимий шароитларни ўрганиш доирасида биноларни лойиҳалашнинг пассив стратегиялари сунъий иситиш ва совутишни

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

максимал даражада камайтириш учун қилади, шу билан бирга, қиш мавсумида етарли даражада иситишни таъминлаш учун мавсумий ўзгаришларни ҳисобга олган ҳолда пассив иситишдан фойдаланишни режалаштириш лозимлигини таъкидлайди, бу эса ўз навбатида ўтиш даврида биноларнинг кизиб кетишининг олдини олишга имкон беради.

Адабиёт

1. Renewable capacity statistics 2023. Report IRENA. <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>.
2. Черепанова Е.С., Ермакова Л.Н., Шихов А.Н.. Разработка карт распределения биоклиматических индексов на основе данных WorldClim 2. 0 (на примере территории Пермского края) // Научный журнал «Интерэкспо Гео-Сибирь», Россия 2018. - С. 56-62.
3. Ali Shakoор. Analysis of the Role of Natural Environment in the Compatibility of Human Settlements with it “Emphasizing Application of Climate in Esfahan Rural Architecture, Iran”// Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12): 1524-1526, 2011.
4. Kasmaei M. Climate and architecture//Soil publication, Esfahan, Iran, 2003, pp: 210.
5. Н.Р. Авезова, Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова. Динамика изменения температуры наружного воздуха в Узбекистане за последние годы. / VI - Международная научно-практическая конференция “Цели и пути устойчивого экономического развития” Уфа, - С. 31-41, 2021.
6. Saligheh, M. Modeling housing compatible with climate for Chabahar// Development & Geography Journal, 8(12): 66-78. 2004.
7. Avezova N.R., Rakhimov E.Yu., Dalmuradova N.N., Shermatova M.B.. Adjustments to the indicators of the heating and cooling degree-days for regions of the Republic of Uzbekistan// The materials of 2-nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2021), PP. 278-288.
8. ASHRAE, 2009, ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, GA: ASHRAE.
9. Givoni, B.,1992, Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings 1:11-23.
10. MacPherson, R.K. Thermal stress and thermal comfort. Ergonomics 16, 1973, pp. 1366-5847.
11. Fanger, P.O. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, New York: McGraw-Hill, 1972.
12. Sayigh, A. and A. H. Marafia. Thermal comfort and the development of bioclimatic concept in building design. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2, 1998, pp. 3-24.
13. Olgyay, V.1963, Design with Climate, Bioclimatic Approach and Architectural Regionalism, New Jersey: Princeton University Press.
14. Givoni, B.,1994, Passive and Low Energy Cooling of Buildings. New York: Van Nostrand Reinhold.

15. Singh, A.K., H. Singh, S.P. Singh, and R.L. Sawhney, 2002, Numerical calculation of psychrometric properties on a calculator. *Building and Environment* 37: 415-419.
16. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Высшая школа, 1971, - 460 с.
17. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 416 с.
18. Тверской П.Н. Курс метеорология (физики атмосферы). - Л.: Гидрометеиздат. 1962. - 703 с.
19. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах : Учеб. пособие для студентов эконом. спец. вузов. — М. : Высшая школа, 1986. — 319 с.
20. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. П. Вычислительные методы для инженеров : Учеб. пособие. — М. : Высшая школа, 1994. — 544 с.
21. Avezova, N.R., Rakhimov, E.Y., Frid, S.E. et al. Assessment of the Technical Potential of Photovoltaic Convertors: The Case of the Fergana Valley Part I: Dynamics of Climate Data Changes in the Region. *Appl. Sol. Energy* 58, 697–707 (2022). <https://doi.org/10.3103/S0003701X22600977>.

*Фаргона политехника институти, Тошкент давлат
техника институти ва Физика-техника институтлари
томонидан тақдим этилган*

UDK 621.391

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A SOLAR PANEL EQUIPPED WITH A CLEANING SYSTEM

Kh.F. Zikrillayev, T.B. Sodiqov, Y.M. Qurbanov

Мақолада тозалаш тизими билан жихозланган қуёш панелининг устида олиб борилган илмий тадқиқот ва тажриба натижалари келтирилган. Ўлчаи, математик ва кузатиш усулларига асосланган илмий тадқиқотлар жорий йилнинг куз ойида олиб борилган. Тадқиқот жараёнида тозалаш тизимига эга қуёш панели қисқа туташув тоқининг максимал қиймати 7,36 А га тенг бўлди, бу тозалаш тизимига эга бўлмаган панелнинг қисқа туташув тоқидан 12,71 % га кўп. Тозаланмаган панелнинг юзасидаги ҳарорат тозаланган панелнинг юзасидаги ҳароратдан дан 3,6 °С юқори бўлди, бу эса энергия ишлаб чиқаришининг пасайишига олиб келди. Қуёш нурланишининг оқим зичлиги 609 Вт/м² га тенг бўлганда тозалаш тизими билан жихозланган қуёш панелининг қуввати максимал даражага йетди ва 177 Вт ни ташкил этди, бу қиймат эса тозалаш тизимига эга бўлмаган панелнинг максимал қувват қийматидан 8,58 % га кўп. Шундан сўнг, муаллифлар қуёш панеллари учун тозалаш тизимларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ ва айниқса, чанг даражаси юқори бўлган жойларда жуда самарали деган ҳулосага келишди.

Калим сўзлар: самарадорлик, қуёш панели, қувват, қисқа туташув тоқи, ҳарорат, қуёш нурланишининг оқим зичлиги, чанг, тозалаш тизими.

В статье приведены результаты научных исследований и экспериментов с солнечной панелью, которая снабжена системой очистки. Научные исследования, основанные на измерительных, математических и наблюдательных методах, были проведены осенью текущего года. В процессе исследования определено максимальное значение тока короткого замыкания солнечной панели, которая имеет систему очистки: она равна 7,36 А, что на 12,71 % больше, чем ток короткого замыкания панели без системы очистки. Температура на поверхности неочищенной панели была на 3,6 °С выше, чем температура очищенной панели, что привело к снижению генерации энергии. Когда плотность потока солнечного излучения была равна 609 Вт/м², мощность солнечной панели, которая снабжена системой очистки, достигла максимума и составила 177 Вт, это значение на 8,58 % больше, по сравнению с максимальной мощностью панели, не имеющей систему очистки. После этого авторы пришли к выводу, что применение систем очистки для солнечных панелей целесообразно и весьма эффективно, особенно там, где велик уровень запыленности.

Ключевые слова: эффективность, солнечная панель, мощность, ток короткого замыкания, температура, плотность потока солнечного излучения, пыль, система очистки.

The article presents about the results of scientific research and experiments of a solar panel, which is equipped with a cleaning system. Scientific research based on

measurement, mathematical and observational methods was carried out in the fall of this year. During the study the maximum short circuit current value of a solar panel that has a cleaning system was determined it is equal to 7.63 A, which is 12.71 % more than the short circuit current of a panel without a cleaning system. The surface temperature of the uncleaned panel was 3.6 °C degrees higher than the temperature of the cleaned panel, which led to a decrease in energy generation. When solar radiation flux density was 609 W/m², the power of the solar panel, which is equipped with a cleaning system, reached its maximum and amounted to 177 W and this value is 8.58 % more than the maximum power of the panel without a cleaning system. After this the authors came to the conclusion that the use of a cleaning systems for solar panels is expediently and very effective, especially where dust levels are high.

Key words: *efficiency, a solar panel, power, short circuit current, temperature, solar radiation flux density, dust, cleaning system.*

Introduction. It is known from science that the Sun turns its mass into radiation – it reconstructs the hydrogen that forms it into helium, emitting an excess of energy as a result heat and electromagnetic radiation are produced, which are an indirect source of many types of energy. In Uzbekistan the number of cloudless days on average is 250-270 days and the during of sunshine is 2850-3050 hours per year, which confirms that our country has a huge solar resource potential [1,2]. Therefore, in recent years the country has paid special attention to solar energy, the basis of which, as is known, is solar panels and solar collectors of various types. Solar panels are becoming more and more relevant, since they are the safest and do not release harmful substances into the environment as a result of global climate change is prevented to some extent. The operation of solar panels is ensured by silicon semiconductors, that is, the atoms of a silicon semiconductors have extra n-type electrons, while there are not enough p-type electrons. When the sun's rays hit the surface of a silicon semiconductor, the release electrons from the n-layer atoms, which are then captured by the p-layer atoms. Trying to return to their original position the electrons move in a circle losing energy and charging energy. Here the main role is played by the sun's rays, that is, such a parameter as short circuit current of the solar panel directly depends on the rays of the sun that fall on their surface [3,8].

Today, the primary task is to maintain the stable performance and energy efficiency of solar panels during the photoperiod with a strong change in external conditions, namely with a high level of dust, therefore for efficient operation and stable energy generation the surface of the modules must always be clean and free from dust, which interferes with the conversion of solar energy into electrical energy, this requires their periodic maintenance, which is unacceptable from a technical and economic point of view, especially if the photovoltaic stations include tens of thousands of modules [4,5]. To solve this problem, depending on the structural and mechanical part of the panels it is necessary to use a cleaning system, which not only allows to generate more energy but also increase service life, shorten the payback period, the level of ease of use and also efficiency [6].

Main part. This work presents the results of experiments on a solar panel, which is equipped with dust removal system. Scientific and practical research was carried out in the

fall of this year and was based on measurement, mathematical and observational methods. The solar panel under study has the following passport parameters: short circuit current 8.79 A, open circuit voltage 37.7 V, operating current 8.23 A and operating voltage equal to 30.4 V. Figure 1 shown below illustrated the dependence of the short circuit current on the solar radiation flux density for a solar panel equipped with a dust cleaning system and without a dust cleaning system respectively.

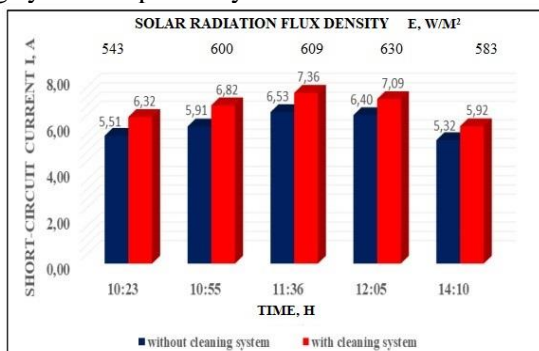


Fig.1. Graph of solar panel short circuit current versus solar radiation flux density

The graph shows, that the short circuit current of a solar panel, which is equipped with a cleaning system, is significantly different from the short circuit current of a panel that does not have a cleaning system. For example, when solar radiation flux density reached 609 W/m^2 , the short circuit current value of the solar panel with cleaning system was 7.36 A, which is 12.71 % higher than the short circuit current of the solar panel without cleaning system. When solar radiation flux density was minimal and amounted to 543 W/m^2 , the short circuit current of the cleaned panel was 6.32 A, the uncleaned panel was 5.51 A, if we compare the difference is 14.7 %. On average, the short circuit current of the cleaned panel each measurement was almost 13 % higher compared to uncleaned panel.

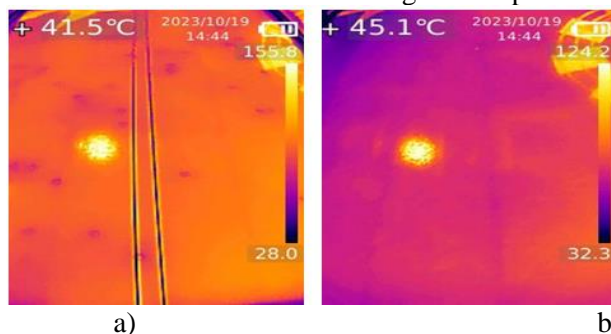


Fig.2. Temperature on the surface of solar panels: a) with cleaning system; b) without cleaning system

These differences in parameters are due to the fact that different concentration of dust, accumulating on the surface of the modules, prevent the solar cells from receiving

sunlight, resulting in a reduction in short circuit current, the cleaning system cleans the surface of the panel from dust, thereby the photocells receive more sunlight [8].

It is known that the temperature coefficient of the maximum output power of a solar panel is a coefficient that shows how much energy is lost for each degree above the standard. Solar panels usually operate outdoors and are highly depend on ambient temperatures, which have become more unstable in recent years (abnormally hot or cold). They typically operate most efficiently at 25 °C, which is the industry benchmark for how panel manufactures evaluate panel performance. However, the brand and model of panels can also affect the temperature range for optimal operation. For the solar panel under study, whose maximum power is equal 250 W, the temperature coefficient of maximum power output is 0.43 % [7, 9].

From above figures it can be seen that the temperature on the surface of a solar panel not equipped with a cleaning system is 3.6 °C higher than the temperature of a panel with cleaning system. The mass of dust that falls on the surface of the solar panel, depending on the thickness, leads to overheating of the panel and reduces its energy efficiency, that is, the thicker the dust on the surface of the panel, the more the panel heats up, therefore the lower its energy efficiency [8]. Therefore, for efficient, stable energy generation, it is necessary to periodically clean the surface of the solar panel from dust.

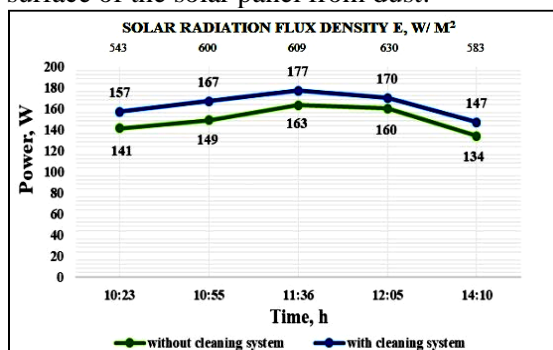


Fig.3. Variation of power over time of solar panels

Following figure below shows the change in module power over time on the day of measurement. The graph shown in fig.3 illustrates the change in power over time and also shows the difference in power of solar panels with and without a cleaning system. If we analyze the graph, then at 10:23 h the power of solar panel, which has a cleaning system, was 157 W, which is 11.3 % more than the power of solar panel without a cleaning system. In the middle of the day, maximum power value of the cleaned panel was 177 W and this is almost 8.6 % more than the maximum power value of the uncleaned panel. At 14:10 hours the power of the solar panels with and without a cleaning system was equal 147 and 134 respectively, if compared the difference is 9.70 %. On average the power of solar panel equipped with a cleaning system was 9.58 % greater at each measurement than the power of a panel without cleaning system.

The value of this parameter differences can still increase significantly due to the thickness of dust on the surface of the module, which additionally accumulates over time

due to unstable weather. Therefore, the use of a cleaning system for solar panels that are installed in highly dust areas is very acceptable and expediently.

Conclusion. Thus, from above we can conclude that, dust accumulated on the surface of the solar panel will lead to a decrease in parameters, resulting in reduced efficiency. Equipping solar panels with a cleaning system allows them to maintain their efficiency during the light period. The maximum short circuit current value of a solar panel that has a cleaning system was 7.36 A, which is 12.71 % more than the short circuit current of a panel without a cleaning system. The temperature on the surface of uncleaned the panel was 3.6 °C higher compared to the cleaned panel, which led to a decrease in energy generation. The power of the panel with a cleaning system reached its maximum and amounted to 177 W when the solar radiation flux density was equal to 609 W/m² and this value is 8.58 % more than the power of the solar panel that is not have a cleaning system. Therefore, for solar panels installed in highly dusty areas it is expediently and acceptable to use a cleaning system.

Literature

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. / Под ред. акад. Салимова А.У. - Т.: Fan va texnologiyalar nashriot - matbaa uyi. 2021, -951 с.
2. Антонова Е.А., Горячев С.В. Повышение эффективности солнечных батарей нового поколения за счёт использования новых материалов и их гибридизации // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2019, -№1 (70).
3. Saitov E, Sodiqov T. Modeling an autonomous photovoltaic system in the Matlab Simulink software environment / AIP Conference Proceedings 2022, 2432, <https://doi.org/10.1063/5.0089914>.
4. Шогучкаров С.К., Жамолов Т.Р., Болиев А.М. Исследование влияния различных концентраций пыли на вольтамперные характеристики фотоэлектрической батареи. // Научно-технический журнал Universum: Технические науки, 2019, -№ 4 (61).
5. Ситдиқов Р.А., Радионова О.В. Об обеспечении стабильной энергоэффективности фотоэлектрических установок /III Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы систем электроснабжения». Ташкент, 2023, -С.286-289.
6. Zikrillayev Kh.F., Sodiqov T.B. Study of the structural and mechanical part of the HANHWA solar panel // Scientific-technical journal of FerPI, 2023, -№ 5 (27).
7. Zikrillayev Kh., Sodiqov T. Study on main characteristics of HANHWA solar panles // E3S Web of Conferences, 2023, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401037>.
8. <https://reenergo.ru>.
9. <https://onlysolar.in.ua/ru>.

*Presented by Tashkent state
technical university*

UDK: 621.472.383.56

**REFLEKTOR VA ISSIQLIK KOLLEKTORINING FOTOISSIQLIK
BATAREYASI ELEKTR PARAMETRLARIGA TA'SIRI****M.N. Tursunov, X. Sabirov, T.Z. Axtamov, S.F. Toshpulatov**

Maqolada 60W lik fotoelektrik batareya (FEB) va fotoissiqlik batareyalarini (FIB) tabiiy sharoitda asosiy elektr parametrlarini o'lchash natijalari aks etgan. Tajriba qurilmalarni qo'l kuchi yordamida boshqarish rejimida olib borildi va har yarim soat vaqt intervalida o'lchash natijalari olib borildi. FIB ni laboratoriya sharoitida, issiqlik kollektorini (IK) FEB orqa qismiga mustahkam yopishtirish yo'li bilan tayyorlangan. Asosiy elektr parametrlari bir vaqtda o'lchanib, quvvat funksiyasi grafiklari chizilgan. Kunlik ishlab chiqarilgan energiya miqdorlari quvvat funksiyasidan foydalanib topilgan. Bunda, kun davomida FIB ishlab chiqargan energiya FEB energiyasidan deyarli 1.5 marta katta bo'lgan. Reflektorlar va IK dan bir vaqtda samarali foydalanish issiqlik yo'qotishlarini hamda elektr yo'qotishlarini maksimal darajada qisqartirishi mumkinligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: elektr quvvat, radiatsiya, reflektor, qisqa tutashuv toki, ochiq zanjir kuchlanishi.

В статье приведены результаты измерений основных электрических параметров фотоэлектрической батареи (ФЭБ) и фототермической батареи (ФТБ) мощностью 60 Вт, в естественных условиях. Эксперимент проводился в режиме ручного управления, результаты измерений снимались каждые полчаса. ФТБ была изготовлена в лабораторных условиях путем прочного приклеивания теплоколлектора (ТК) к обратной стороне ФЭБ. Одновременно измерялись основные электрические параметры и строились графики функции мощности. Ежедневное количество вырабатываемой энергии определялось с помощью функции мощности. При этом энергия, вырабатываемая ФТБ в течение суток, почти в 1,5 раза превышала энергию ФЭБ. Установлено, что одновременное использование отражателей и ТК позволяет максимально снижать тепловые и электрические потери.

Ключевые слова: электрическая мощность, излучение, отражатель, ток короткого замыкания, напряжение холостого хода.

The article shows the results of measuring the main electrical parameters of a 60W photoelectric battery (PEB) and photothermal batteries (PTB) under natural conditions. The experiment was carried out in the mode of manual control of the devices, and the measurement results were taken every half hour. The PTB was prepared in laboratory conditions by firmly glueing the heat collector (HC) to the back of the PEB. The main electrical parameters are simultaneously measured and power function graphs are drawn. The daily amount of energy produced is found using the power function. In this case, the

energy produced by PTB during the day was almost 1.5 times greater than the energy of PEB. It was found that effective simultaneous use of reflectors and IK can reduce heat losses and electrical losses as much as possible.

Keywords: electric power, radiation, reflector, short circuit current, open circuit voltage.

Kirish. Bugungi kunda dunyoda energiyaga bo‘lgan talab ortib bormoqda. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari ichida quyosh energiyasidan foydalanish esa bu muammoni yaxshilabgina qolmay, yashil dunyo siyosatini ham qo‘llab quvvatlaydi. FEB bu quyoshdan kelayotgan yorug‘lik energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi p–n o‘tishga asoslangan quyosh elementlaridan tashkil topgan sistemadir [1]. Bu holatda elektr energiyasiga aylanmay qolgan, lekin quyosh elementlarida yutilgan energiyaning katta qismi FEB ni qizishiga sabab bo‘ladi [2]. Ma’lumki FEB foydali ish koeffitsiyenti uning harorati oshishi bilan keskin tushib ketadi [3,4]. Shu sababli, FEB ichidagi haroratni ko‘plab usullar yordamida sovutishga bag‘ishlangan amaliy va nazariy ishlar mavjud. FEB larni sovutishning aktiv, passiv va gibrid holdagi turlari shular jumlasidan bo‘lib, ushbu usullar bir-biridan maqsad va vazifaga qarab qo‘llanishi bilan farq qiladi. FEB ning issiqlik kollektori bilan birlashtirilgan tizimi FIB deb ataladi. FEB larni sovutish uchun har xil turdagi issiqlik kollektorlari ishlatiladi. Sovutuvchi modda sifatida turli suyuqliklar, asosan suvdan ayrim hollarda havodan foydalaniladi va ular issiqlik kollektorlari orqali o‘tkaziladi. Bundan tashqari, suv taqchil bo‘lgan hududlarda termoelementlardan foydalangan holda sovutish ham o‘z samarasini beradi [5]. FIB larda materiali va shakli turlicha bo‘lgan issiqlik kollektorlari sinovdan o‘tkazilgan [6]. Reflektorlarning FIB parametrlariga ta’siri ham ko‘plab ishlarda keng yoritilgan bo‘lib, uning asosiy vazifasi quyoshdan kelayotgan nurlanish energiyasini ko‘paytirib berish hamda FEB ni changlanishdan himoyalashdir [7].

Materiallar va usullar. Tadqiqotimizda keltirilgan FIB qurilmasi yuqorida bajarilgan ilmiy ishlardan farq qiladi. Qurilmada maksimal quvvati 60W bo‘lgan monokristall kremniyli FEB dan foydalanilgan. FEB pasport ma’lumotlari hamda uning asosida tayyorlangan FIB parametrlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

FIB qismlarining geometrik o‘lchamlari, fizik va texnik hususiyatlari

Parametrlar	O‘lchami
Geometrik o‘lchamlari	
FEB yuzasi, S_{FEB}	0,33m ²
FEB ramkasi eni, d	2.5sm
Reflektor yuzasi, S_{ref}	0,66m ²
Reflektor qalinligi, d_{ref}	0,4sm
Orqa qopqoqning yuzasi, S_q	0,33m ²
Orqa qopqoqning qalinligi, d_q	0,4sm
Fizik va texnik hususiyatlari	
FEB ning maksimal quvvati, P_{max}	60W
FEB ning foydali ish koeffitsiyenti, η	18.36%
FEB ning salt yurish kuchlanishi, U_{oc}	21.6V
FEB ning qisqa tutashuv toki, I_{sc}	3,53A

FEB volt-amper xarakteristikasining to'ldirish koeffitsiyenti, FF	0,786
---	-------

FIB ning orqa tomoniga issiqlik kollektori va frontal yuzasining uzun tomonlari bo'ylab yon tomoniga ikkita reflektorlar o'rnatilgan. Reflektorlarning umumiy yuzasi FEB yuzasidan ikki barobar katta hamda nur qaytarish koeffitsienti ham avvalgi ishlarda foydalanilgan reflektorlardan yaxshiroq [8]. Issiqlik kollektori parallel kanalli polikarbonatdan foydalangan holda, maxsus loyihalash asosida ishlab chiqilgan. FEB ni orqa tomoni yuzasi bilan IK yaxshi issiqlik almashinuvini amalga oshirish maqsadida maxsus yopishtirilgan. Orqa tomoni issiqlik saqlagich bilan berkitilib, alyukobond materiali asosida yopilgan. Polikarbonat materialining issiqlik kollektor sifatida ishlatishga uning bugungi bozor sharoitida arzonligi, ko'p kanalli bo'lib ishlanganligi asos bo'ldi. Tajriba davomida FEB va FIB lar qo'l kuchi yordamida quyoshga yo'naltirish maqsadida tajriba qurilmasiga o'rnatildi. Tajriba qurilmasi mana shu maqsadga muvofiq qilib tayyorlangan. O'lchash ishlari Fizika-texnika institutida iyun oyida ochiq havo sharoitida olib borilgan. Tajribada reflektorlarning asosiy vazifasi FEB yuzasiga tushayotgan quyosh nurlanish energiyasini oshirib berish bo'lib, bundan tashqari FEB yuzasini ifloslanish va changlanishdan himoyalashdir [9]. Ma'lumki standart sharoit sifatida $AM=1.5$, $E=1000W/m^2$, $T=25^{\circ}C$ da o'lchangan FEB parametrlari qabul qilingan. Ammo, bu standartda keltirilgan quyosh nurlanishi kattaligi yer yuzining deyarli hech bir nuqtasida saqlanmaydi va bu sharoitga yaqin bo'lgan holatni ta'minlash uchun qo'shimcha moslamalar talab qilinadi.

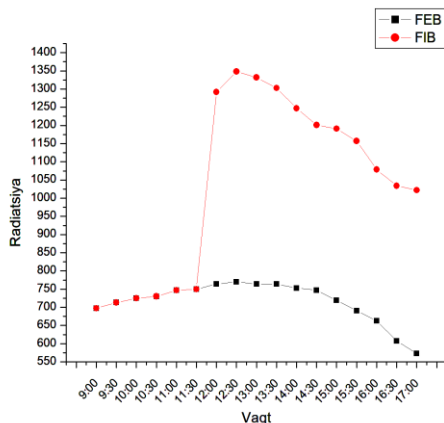
Natijalar va munozaralar. Maqolada bir xil quvvatga ega bo'lgan FEB va FIB asosiy elektr parametrlari tahlil qilingan. Ishning maqsadi tabiiy quyosh nurlanishi sharoitida (FTI Geliopoligoni) FEB va FIB qisqa tutashuv toki (I_{qt}), salt yurish kuchlanishi (U_{xx}) va ishlab chiqilgan elektr quvvat (P) o'zgarishini o'rganishdir. O'lchash natijalari 2023-yil iyun oyida Fizika-texnika instituti geliopoligonida soat 9:00 dan 17:00 gacha bo'lgan vaqt oralig'ida o'lchangan. Tajriba davomida harorat $29^{\circ}C$ dan $36^{\circ}C$ gacha, shamol tezligi 0.2–5m/s va havo namligi 15.5% ni tashkil etgan. Tajribamiz treker (qo'l kuchi yordamida yo'naltirish rejimi) rejimida olib borildi. Bunda FEB larning old yuzasiga quyosh nurlarining tik (90°) tushishini ta'minlash maqsadida 30 daqiqa vaqt intervali bilan operator tomonidan qo'l kuchi bilan yo'naltirilib turilgan (1-rasm).



1-rasm. FEB va FIBlarning umumiy ko'rinishi

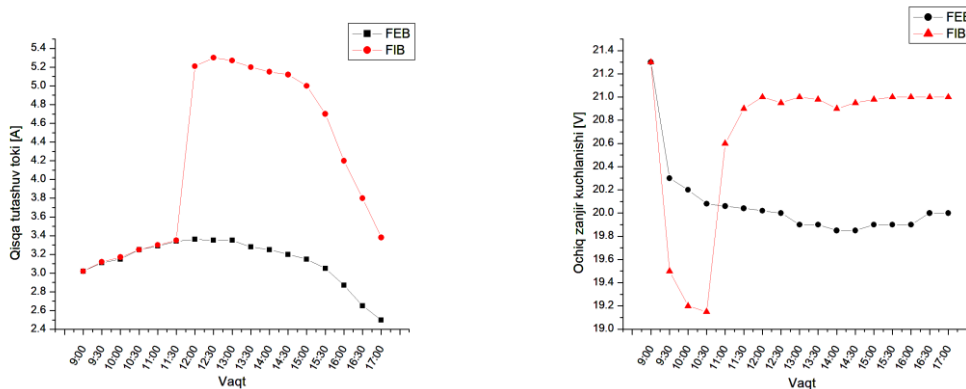
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Tajriba davomida FEB va FIB yuzasiga tik tushuvchi quyoshning normal radiatsiyasi haqidagi ma'lumotlarni 2-rasmdan olishingiz mumkin.



2-rasm. FEB va FIB yuzasiga tik tushuvchi quyoshning normal radiatsiyasining vaqtga bog'liqligi

Grafikdan reflektorlar ta'sirida quyosh radiatsiyasi keskin oshganligini ko'rishimiz mumkin. I_{qt} ning radiatsiyaga to'g'ri muttanosib ekanligidan, natijada I_{qt} ortadi. FIB haroratini ortib ketmasligi uchun IKdan suv o'tkazildi. I_{qt} va U_{xx} ning vaqtga bog'liqlik grafiklarini 3-rasmda ko'rishimiz mumkin.



3-rasm. Qisqa tutashuv toki va ochiq zanjir kuchlanishining kun vatiga bog'liqligi

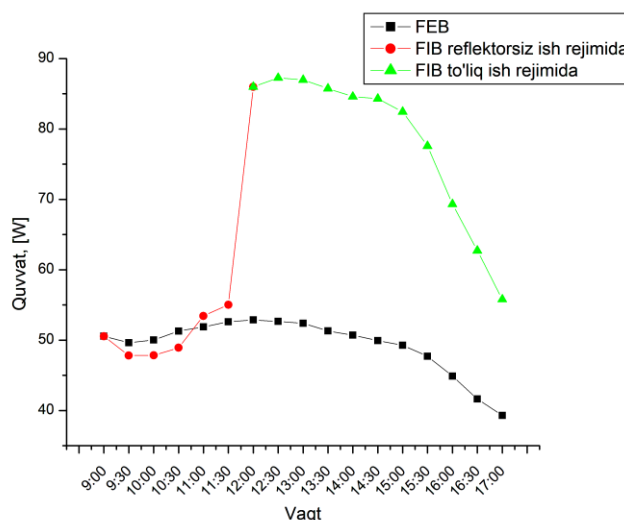
Ochiq zanjir kuchlanishi grafigini tahlil qilsak. FEB haroratining ortishi bilan U_{xx} ning qiymati tushib borgan va 20V dan kichik qiymatda muntazam saqlanib borgan. FIB da esa tajriba boshida keskin tushushish sodir bo'lgan va 19,1Vgacha tushgan. Bunga sabab, FIB orqa qismining havo bilan bevosita konvektiv aloqada bo'lmaganligidir. Sovuq suv bilan sovutish natijasida elektr yo'qotishlari tiklangan va kuchlanish 21V atrofida

qiymatga ko'tarilib, tajriba oxirigacha shu qiymat saqlanib qolgan. Bu qurilmalar quvvatini ham tahlil qilsak. Quvvatni hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanildi:

$$P = FF \cdot I_{qt} \cdot U_{xx} \quad (1)$$

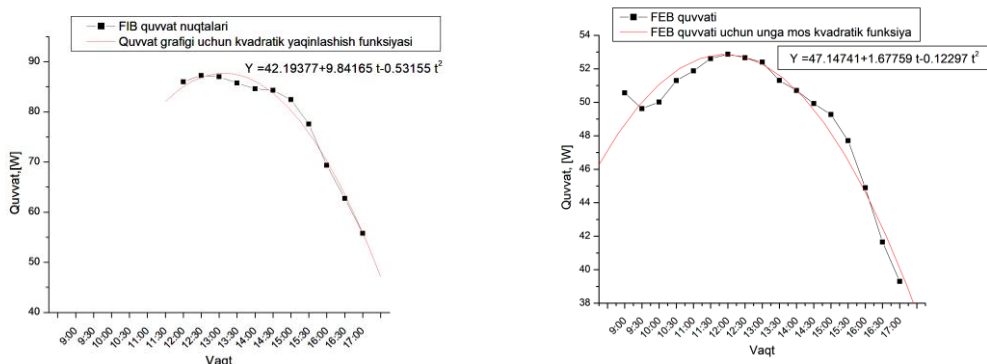
Bu yerda FF - FEB volt-ampere xarakteristikasining to'ldirish koeffitsiyenti bo'lib uning qiymati yuqoridagi jadvalda berilgan.

Quvvat grafiklari va kvadrat darajada yaqinlashishga asoslangan approksimatsiyalangan grafiklar qiymati 4-rasm va 5-rasmda berilgan. Bunda Origin programmasidan foydalangan holda grafik approksimatsiyalash amalga oshirilgan va quvvat funksiyasi uchun eng yaqin bo'lgan kvadratik funksiyaga tanlab olingan. Quvvat funksiyasini bilgan holda FEB yoki FIBlarning biror istalgan vaqt oraliqidagi ishlab chiqargan energiyalarini hisoblash mumkin bo'ladi.



4-rasm. FEB va FIBning quvvatini vaqtga bo'g'liqligi

Grafikdan ko'rishimiz mumkinki FEB kun davomida o'rtacha 50W quvvat berishi mumkin ekan. Tajribada qurilmalarmani qo'l kuchi yordamida quyoshga yo'naltirish rejimida olib borganligimizni hisobga olsak, bu qiymat yana ham kichiklashishi mumkin ekan. Ammo, FIB o'zining to'liq ish rejimida ya'ni IK va reflektorlarini o'z vazifasida ishlatilganda, 80W dan yuqori va maksimal 87.3W maksimal quvvat qiymatiga erishilgan. Shu maksimal nuqtada FIB quvvati FEB quvvatidan 65.7% ga ko'proq bo'lgan. Bu ko'rsatgich 2,5-3-soat saqlanib turganligini grafikdan ko'rishimiz mumkin. 5-rasmda esa har ikkita qurilma uchun quvvat funksiyalari topilgan va bu funksiyalardan foydalanib ishlab chiqarilgan energiya miqdorlari ham hisoblandi. Tajribamiz yoz oyida o'tkazilganligi sababdan qurilmalar to'liq ishlash vaqti uchun 10soat uchun hisoblashlarni amalga oshirdik. FEB shu vaqt ichida 514,5W·soat, FIB esa 757,33W·soat energiya ishlab chiqarishi aniqlandi. FIB ishlab chiqargan energiya FEB energiyasiga nisbatan 47% ga ko'proq ekan.



5-rasm. FEB va FIB quvvatlari uchun kvadrat funksiya grafiklari

Quvvat grafigini topish umumiy nazariya va amaliy ishlarida juda muhim hisoblanib, u orqali kunlik ishlab chiqarilgan energiyani va boshqa ko'plab ma'lumotlarni bilish mumkin bo'ladi.

Xulosa. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari ichida eng istiqbolli yo'nalish sifatida qaraladigan quyosh energiyasidan oqilona foydalanish zamon talibiga aylanib bo'ldi. Shu maqsadda FEB va FIB larni asosiy elektr parametrlarini taqqoslash tajribasi olib borildi. O'tkazilgan tajribamizda qurilmalar elektr yo'qotishlarini kamaytirish asosiy maqsad qilib olindi. Tajriba natijasidan quyidagi asosiy natija va xulosalar olindi:

- 60W monokristall FEB dan o'rtacha yoz kunlarida 514W·soat va shu quvvatli FIB dan 757 W·soat elektr energiya olish mumkin;
- tajriba natijalari asosida quvvat funksiyalari topildi;
- FIBda energiya yo'qotishlarini maksimal darajada kamaytirib 87.3W quvvat qiymatiga erishildi;
- IKning FEB orqa sirtiga issiqlik o'tkazuvchan material bilan biriktirilishi sovutish effektivligini keskin oshirar ekan.

Tajribamizda FIB dan olinadigan kunlik energiya miqdori FEB dan deyarli 1.5 marta katta ekanligi uning effektivroq ekanligini bildiradi. Bunga qo'shimcha ravishda FIB dan issiq suv olish ham mumkin bo'ladi.

Adabiyot

1. Tursunov M.N., Muminov R.A., Dyskin V.G. and Yuldoshev I.A. A Mobile Photothermal Converter and Its Operating Characteristics, Appl.Solar Energy, 2013, №1, p. 23-27.
2. Muminov R. A., Tursunov M. N., Sabirov Kh., Abilfayziyev Sh. N., Yuldoshov B. A. and Toshpulatov S. F. Testing of crystalline silicon-based photoelectric and photothermal batteries in real climate conditions and comparison of parameter changes. Journal of Physics: Conference Series 2388 (2022) 012128. doi:10.1088/1742-6596/2388/1/012128.

3. Muminov, R.A., Tursunov, M.N., Yuldoshev, I., Sabirov, H., Kholov, U., and Akhtamov, T., Features of optimization of increasing the efficiency of an autonomous photo thermal installation for rural regions, E3SWeb of Conferences, 2020, vol. 216, p. 01146.

4. I.A. Yuldoshev, A.K. Saymbetov. Combined photo thermo converters solar energy with reflecting concentrators [Combined photo thermo converters solar energy with reflecting concentrators]. Proceedings of XII International Scientific Conference “Solid State Physics” 2014y. 25-27 June, p.217-219.

5. Y. Cai, L. Wang, W.-W. Wang, D. Liu, F.-Y. Zhao. 2020. Solar energy harvesting potential of a photovoltaicthermoelectric cooling and power generation system: Bidirectional modeling and performance optimization. Jour. of Clean. Prod. Vol. 254. pp. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120150>.

6. A Nahar, M Hasanuzzaman, N Rahim, and S. Parvin, “Numerical investigation on the effect of different parameters in enhancing heat transfer performance of photovoltaic thermal systems”. Ren. Ener., Vol. 132, 2019. pp. 284–95. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.008>.

7. Abdiev U.B., Yuldoshov B.A. Inspection electrical and heat parameters of photovoltaic-thermal battery, studying the effects of pollution / Scientific reports of Bukhara state university. Bukhara, 2021, № 5-6. pp. 2-20.

8. Muminov, R.A., Tursunov, M.N., Yuldoshev, I., Sabirov, H., Kholov, U., and Akhtamov, T., Features of optimization of increasing the efficiency of an autonomous photo thermal installation for rural regions, E3SWeb of Conferences, 2020, vol. 216, p. 01146.

9. Muminov R.A., Tursunov M.N., Sabirov X., Abdiev U., Yuldoshov B.A., Abilfayziev Sh.N. Study of methods for protecting the surface of photovoltaic batteries from pollution // Asian journal of research, 2020, № 1-3, pp. 331-335 (Crossref IF3,7).

*O'zR FA Fizika-texnika instituti
tomonidan taqdim etilgan*

УДК 622.997.537.22

ФОРМИРОВАНИЕ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОЛНЕЧНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ

С.Ш. Махмудов

Ушбу мақолада Куёш муҳандислиги амалиётида қуёш концентраторларининг мақсадига қараб, уларга турли хил геометрик шакллар қўлланилиши таҳлил қилинган. Аберрограммаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, очилиши бурчаклари 50 градусгача, қуёш тасвирининг ўлчами абберрация қийматлари билан таққосланади ва улар катта очилиши бурчакларида нуқта ўлчамида ҳал қилувчи бўлади. Параболоид ва сфера нормаларининг минимал илдиз ўртача квадрат оғишига асосланиб, меридионал ва сагиттал радиусларнинг гармоник ўртача қиймати сферик фасетнинг оптимал радиуси сифатида таклиф этилади. Паркентда жойлашган катта қуёш печининг концентраторининг акс эттирувчи юзасини шакллантиришида фасет шаклланишининг деформация усули қўлланилган. Фасетани ушлаб турувчи рамкасининг дизайни анча мураккаб тасвирланган. Шу билан бирга, ҳосил бўлган сирт қандай эгриликка эга эканлиги маълум эмас. КҚП концентратори корпуси учун ўлчами 45 см бўлган эгрилик бўйича бир хил турдаги бурмалардан фойдаланиши имконияти тақдим этилган. Шундай қилиб, агар бурчакнинг эгри чизигини юқори аниқлик билан шакллантириши мумкин бўлса, эгриликка кўра эгилишининг ўлчамларини сезиларли даражада камайтириши мумкин эди. Хулоса қилиб шуни такидлаш мумкинки параболоид асосда шарсимон бурчаклар учун у ёки бу эгриликдан фойдаланилганда, бурчакнинг оптик-энергетик хусусиятлари қанчалик ёмон бўлишини билиши жуда муҳимдир.

Калит сўзлар: қуёш концентраторлари, геометрик шакллар, параболоид шакллар, ойналар, акс эттирувчи юзалар, параболоид текис бурчаклар, сферик бурчаклар, параметр ва бурчак, яқинлашиши, аберрограмма таҳлили, Катта қуёш печи (КҚП).

В данной статье проанализировано использование различных геометрических форм солнечных концентраторов в практике гелиотехники, в зависимости от их назначения. Анализ аберрограмм показывает, что при углах раскрытия до 50 градусов размер изображения Солнца сравним со значениями абберраций, и они являются определяющими для размера пятна при больших углах раскрытия. На основе минимального среднеквадратического отклонения нормалей параболоида и сферы в качестве оптимального радиуса сферической грани предлагается среднее гармоническое меридионального и сагиттального радиусов. Деформационный метод формирования граней был использован при формировании отражающей поверхности концентратора большой солнечной печи, расположенной в Паркенте. Конструкция подфасетной рамки более сложная. При этом неизвестно, какую кривизну имеет полученная поверхность. Для корпуса концентратора БСП

предусмотрена возможность использования однотипных отводов кривизной 45 см. Таким образом, если изгиб угла можно сформировать с высокой точностью, размеры изгиба по кривизне можно существенно уменьшить. В заключении можно отметить, что очень важно знать, насколько плохими будут опико-энергетические свойства угла при использовании той или иной кривизны для сферических углов на параболоидном основании.

Ключевые слова: солнечные концентраторы, геометрические формы, параболоидные формы, зеркала, отражающая поверхность, параболоидные плоские facets, сферические facets, параметр и угол, аппроксимация, анализ aberрограмм, Большая солнечная печь (БСП).

This article analyzes the use of various geometric shapes of solar concentrators in the practice of solar technology, depending on their purpose. An analysis of aberrograms shows that at aperture angles up to 50 the size of the solar image is comparable to the values of aberrations, and they are decisive for the spot size at large aperture angles. Based on the minimum standard deviation of the paraboloid and sphere normals, the harmonic mean of the meridional and sagittal radii is proposed as the optimal radius of the spherical face. The deformation method of facet formation was used to form the reflective surface of the concentrator of a large solar furnace located in Parkent. The design of the subfacet frame is more complex. In this case, it is not known what curvature the resulting surface has. For the case of the BSF concentrator, it is possible to use the same type of bends with a curvature of 45 cm. Thus, if the bend of the corner can be formed with high accuracy, the dimensions of the bend along the curvature can be significantly reduced. In conclusion, it can be noted that it is very important to know how bad the optical-energy properties of the angle will be when using one or another curvature for spherical angles on a paraboloid base.

Key words: solar concentrators, geometrical shapes, paraboloid shapes, mirrors, reflective surfaces, paraboloid flat bevels, spherical bevels, parameter and angle, approximation, aberrogram analysis, Large Solar Furnace (BSP).

В гелиотехнической практике в зависимости от назначения солнечных концентраторов в качестве их геометрических профилей используются различные геометрические формы. Например, хорошо известно, что для точечно-фокусных концентраторов высокие уровни концентрации обеспечивают геометрические формы конических сечений, при этом параболоидные формы имеют наиболее высокие степени концентрации. На рис.1 представлены теоретические концентрирующие способности зеркал различной конфигурации [1].

Из рис.1 видно, что параболоидные концентраторы действительно обеспечивают самую высокую степень концентрации, более 10 тысяч крат.

В то же время необходимо отметить, какая бы геометрическая форма не выбрана, создание такой отражающей поверхности является не простой задачей в техническом плане.

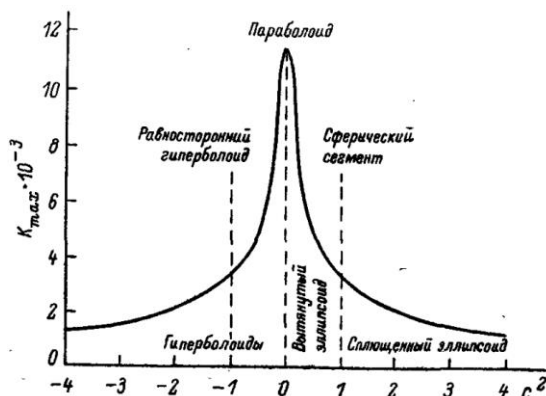


Рис.1. Теоретические концентрирующие способности различных концентраторов

Очевидно, что аппроксимация базового параболоида плоскими facets требует их количества не меньшего, чем коэффициент концентрации. Поэтому, несмотря на простоту изготовления плоских facets, геометрическая ненадёжность схемы и сложность юстировки делают такую компоновку нереальной [2]. Опуская анализ многообразных промежуточных схем укажем, что в качестве альтернативы фрагментарному параболоиду часто используют концентратор на параболической основе из сферических facets переменного радиуса кривизны. Если предполагается относительная малость размеров facets по сравнению с несущей параболоидной основой, то радиус кривизны сферической facets в зависимости от её положения на основе можно вычислить по формуле [3]:

$$R(U) = \frac{p(1 + \cos^2(U/2))}{2\cos^3(U/2)} ; \quad (1)$$

где p и U – фокальный параметр и угол раскрытия концентратора соответственно.

Facet, как обычный однозеркальный концентратор, работает в наклонных пучках, то есть заведомо в условиях дефокусировки в меридиональной и сагиттальной плоскостях (астигматизм наклонных пучков). При этом концентрация лучистого потока происходит в фокальной плоскости (перпендикулярной оси ЗКС), которая не совпадает с фокальной плоскостью отдельной facets, другими словами концентратор и каждая facets работают в различных условиях.

Для концентрирующей способности facets решающими являются сферическая aberrация, кома и астигматизм. Первые две приводят к искажению фигуры изображения, но не оказывают заметного влияния на её местоположение. Как указывалось выше, при анализе конфигурации aberrационного пятна, учёт aberrаций третьего порядка недостаточен и требуется учёт aberrаций высших порядков.

Анализ aberrограмм показывает, что до углов раскрытия 50 размер солнечного изображения сравним с величинами aberrаций, и они становятся определяющими в размере пятна при больших углах раскрытия.

В классической работе В.Б. Вейнберга в качестве радиуса сферических facets на параболоидных концентраторах предлагается использование среднеарифметического значения саггитального и меридиального радиусов параболоидной поверхности, т.е.:

$$R_{sf} = \frac{R_c + R_m}{2}; \quad (2)$$

где

$$R_c = \frac{P}{\cos\left(\frac{U}{2}\right)}, \quad R_m = \frac{P}{\cos^3\left(\frac{U}{2}\right)}. \quad (3)$$

Позже И.В. Баумом предложена вышеприведённая формула.

Авторы работы для радиуса сферической facets предлагают формулу

$$R = 0.3R_c + 0.7R_m \quad (4)$$

Отметим, что во всех этих формулах при $U < 10$ радиус сферы отличается от фокального параметра параболы не более 1 %.

В работах И.И. Пирматова и Р.Ю. Акборова, исходя из минимума среднеквадратичного отклонения нормалей параболоида и сферы, в качестве оптимального радиуса сферической facets предлагается среднегармоническое значение меридиональных и саггитальных радиусов, т.е.:

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_c}, \quad R = \frac{2R_m R_c}{R_m + R_c}. \quad (5)$$

В работе сделан вывод, что на практике для оптимального радиуса сферической facets достаточно использовать удвоенное расстояние между facets и фокусом системы, т.е.:

$$R = 2\rho = \frac{2P}{1 + \cos U}. \quad (6)$$

На рис.2. представлена зависимость радиуса сферической facets от угла расположения facets для различных рассмотренных случаев.

Как видно из графика, наблюдается заметное расхождение между различными формулами сферической facets.

В формировании отражающей поверхности концентратора Паркентской мегаваттной солнечной печи использован деформационный способ формообразования facets. Конструкция подfacetной рамы достаточно непростая, описана в работе [4]. Здесь нужно отметить, что кривизну facets создают либо с помощью профилометра расчетным прогибом, либо на оптическом стенде по минимизации фокального пятна facets. При этом неизвестно, какую кривизну имеет образованная поверхность.

По этой причине при проектировании БСП рассмотрена задача использования одной facets вместо других, т.е. унификация facets по кривизне (имеется унификация facets по заполнению поверхности) [5]. На рис. показана схема расчёта

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

для определения границ унифицированных facets. По рис.3 facets А используется до тех пор, пока среднеквадратичное отклонение нормалей между facets А и Б не превышает заданной погрешности.

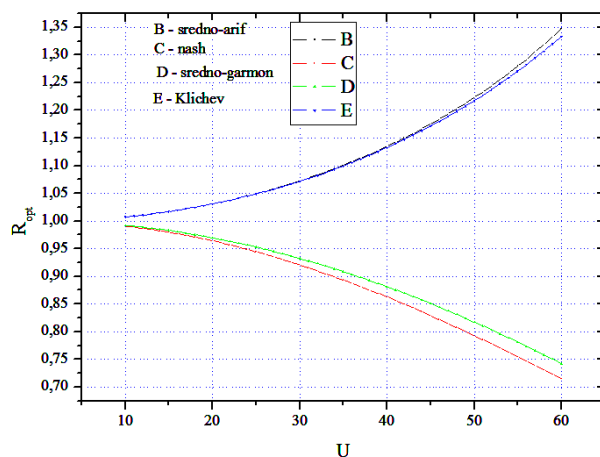


Рис.2. Зависимость радиуса сферы от ее местоположения

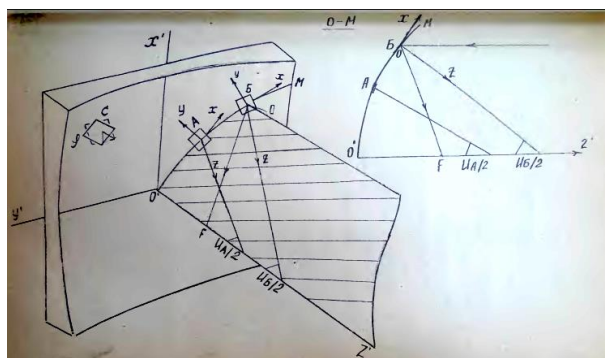


Рис.3. Унификация facets по кривизне

На рис.4. представлена возможность использования однотипных по кривизне facets размером 45 см для случая концентратора БСП. Таким образом, если возможно формирование кривизны facets с высокой точностью, можно существенно уменьшить типоразмеры facets по кривизне [7].

В связи с этим, важную информацию можно получить из изменения среднеквадратичного отклонения нормалей facets, когда facet вращается вокруг своей нормали:

$$\sigma_{\text{op}}^2 = \frac{\int \sigma^2 dS}{S_{\phi}} \quad (7)$$

Таким образом, очень важно знать, что при использовании той или иной кривизны для сферических фацет на параболической основе насколько хуже будут оптико-энергетические характеристики фацеты [8].

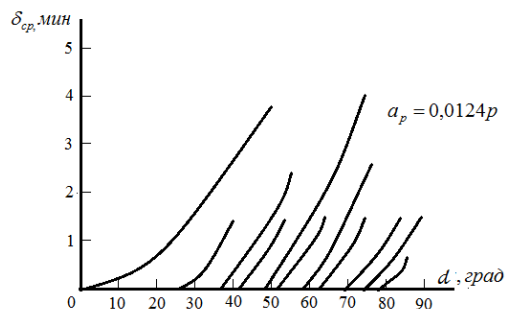


Рис.4. Определение однотипных фацет

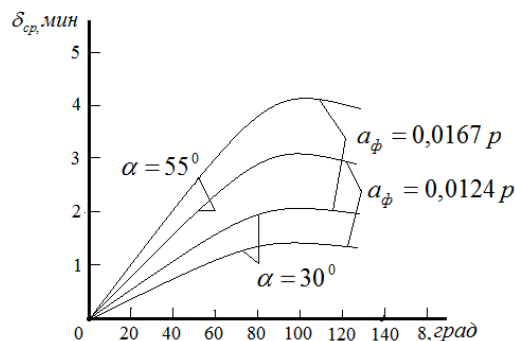


Рис.5. Погрешности, возникающие при повороте фрагмента параболической фацеты вокруг нормали в центре на угол α_ϕ – (размер фацеты)

Для корректной оценки уменьшения энергетических характеристик концентратора в случае использования сферических фацет нужно выполнить сравнительный анализ расчетных энергетических характеристик фрагмента параболической фацеты (соответствующей фацеты) и сферической фацеты с разными вышеприведенными оптимальными радиусами.

Литература

1. A.A Abdurakhmanov, R.Yu Akbarov, K.G Gulamov, T.T Riskiev. Operating experience of a big solar furnace 1000kW in power. Applied solar energy. 1993. 34, 29-33.
2. Akbarov R.Yu, Paizullakhanov M.S. Characteristic Features of the Energy Modes of a Large Solar Furnace with a Capacity of 1000 kW. Applied Solar Energy. 2018. 54(2).pp.99-109.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

3. Yu.B. Sobirov, S.Sh. Makhmudov, A.A. Abdurakhimov. Determination of the Resistance of Polymeric Materials to Solar Radiation // ISSN 0003-701X, Applied Solar Energy, 2022, Vol. 58, No. 6, pp. 760–766.

4. Zakhidov, R. A, Weiner, A. A and Umarov, G. Theory and calculation of applied solar energy concentrating systems (English ed). 146p. Gujarat Energy Development Agency, Vadodara, India, 1992.

5. Sirozhiddin Makhmudov, Yuldash Sobirov, Abdujabbor Abdurakhmanov. Remote method of temperature measurement in the focus of high-temperature solar furnaces // E3S Web of Conferences -France. 2020. Vol. 216, №01145, pp. 1-4.

6. Akbarov Rasul. “Thousand kW High-Temperature Solar Furnace in Parkent (Uzbekistan) – Energetical Characteristics”, chapter in the book “A Guide to Small-Scale Energy Harvesting Techniques”, Reccab Manyala, Ed. London: IntechOpen, 2020, pp.111-135. Print ISBN 978-1-78923-909-6. DOI:10.5772/intechopen.83411.

7. A. Abdurakhmanov, Y. Sobirov, S. Makhmudov, D. Pulatova, T. Jamolov, N. Karshieva and Sh. Ochilov. Hydrogen production using solar energy // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 937 2021 y. 042042. pp.1-5.

8. Грилихес В.А., Матвеев В.М., Полуэктов В.П. Солнечные высокотемпературные источники тепла для космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.

9. Abdurakhmanov A.A., Akbarov R.Yu., Riskiev T.T., Lewandowski A. On calculation of optical-energetic characteristics of double mirror concentrating systems. Applied solar energy. 2002. 38(2), pp.71-77.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

UDK 691.316

XONALARDA GAZ OQIB CHIQISHINI MASOFADAN MOBIL QURILMA YORDAMIDA NAZORAT QILISH**M.M. Tulyaganov, Sh.M. Atajiyev**

Hozirgi vaqtda GSM signallari juda keng qo'llanilmoqda. Umumiy holatda sezgi sensorlari va GSM modemi (yoki uyali telefon) bilan bo'g'langan blok (GSM kontrolleri) hisoblanadi. GSM signalizatsiyasi har qanday uzoq masofadagi ob'ektlarni (uyalar, kottejlar, garajlar, omborlar va boshqalarni) yong'indan himoya qilish uchun juda mos keladi. Ushbu tizimning ishlashi uchun zarur bo'lgan narsa - bu elektr energiyasining mavjudligi va barqaror uyali aloqa. GSM boshqaruvchisi tomonidan ob'ektga o'rnatilgan sensorlardan ma'lumotlarni qabul qilish, qayta ishlash va favqulodda vaziyatda (sensor ishga tushirilganda) uyali aloqa kanali orqali xabar berishdan iborat vazifasi qo'yilgan. Bu vazifalarni amalga oshirish uchun usbu maqolada Arduino mikrokontrolleriga dastur ishlab chiqilgan va ushbu loyihani amalga oshirish uchun sxema taklif etilgan.

Kalit so'zlar: GSM, MQ135, LCD, elektr signali, mikrokontroller, sensor, analog signal.

В настоящее время широко используются сигналы GSM. В общем случае датчики GSM-сигнализации представляют собой блок (GSM-контроллер), подключенный чувствительными элементами к GSM-модему (или мобильному телефону). GSM-сигнализация идеально подходит для пожарной охраны любых удаленных объектов (домов, коттеджей, гаражей, складов и т.п.). Все, что требуется для работы этой системы – это наличие электричества и стабильная сотовая связь. Задача состоит из приема и обработки данных от установленных на объекте GSM-контроллеров и передачи данных по каналу сотовой связи, в случае возникновения аварийной ситуации. Для реализации этих задач в данной статье предложена схема реализации и разработана программа для микроконтроллера Arduino.

Ключевые слова: GSM, MQ135, LCD, электрический сигнал, микроконтроллер, датчик, аналоговый сигнал.

GSM signals are widely used nowadays. In general, GSM alarm sensors are a unit (GSM controller) connected by sensitive elements to a GSM modem (or mobile phone). GSM alarm system is ideal for fire protection of any remote objects (houses, cottages, garages, warehouses, etc.). All that is required for this system to operate is electricity and a stable cellular connection. The task consists of receiving and processing data from GSM controllers installed on site and transmitting data via a cellular communication channel in the event of an emergency. To implement these tasks, this article proposes an implementation scheme and develops a program for the Arduino microcontroller.

Keywords: GSM, MQ135, LCD, electrical signal, microcontroller, sensor, analog signal and Arduino UNO.

Ushbu loyihada Sim800 GSM moduli va Arduinodan [1, 2] foydalangan holda gaz oqib chiqishini aniqlab masofadan turib mobil qurilma yordamida kuzatishni amalga oshiradi. Sim800 GSM (1-rasm) modulini MQ 135 (2-rasm) gaz sensorini [3] Arduino bilan bog'laymiz. Gaz darajasining qiymati 16×2 LCD displeyda ko'rsatiladi. Uy yoki ma'muriy binolarida gaz miqdori me'yoridan ortganda ma'lum bir mobil telefon raqamiga SMS yuboriladi.



1-rasm. SIM900 GSM moduli

Tutun va gaz aniqlovchi sensorlar binolardagi tutun yoki yong'inni aniqlashda juda foydali qurilma. Bunday sensorlar falokatlarning oldini olish uchun muhim xavfsizlik choralari hisoblanadi. Ushbu loyiha tutun yoki gaz oqib chiqishi aniqlanganda ogohlantirish tizimini ishga tushiradi. MQ135 Smoke/Gas sensori orqali tutun va gaz oqishi aniqlanadi. Sensor mukammal sezgirlikka ega. Sensor metan, butan, propan va sigaret tutunini ham sezishi mumkin. Agar MQ135 sensori binolarda gaz chiqishini sezsa ushbu signal Arduino mikrokontrolleri tomonidan nazorat qilinadi va dasturda yozilgan mobil raqamga "Gaz aniqlandi" xabarlarini yuborish uchun signalni GSM moduliga yuboradi. SIM800 o'rniga SIM900 yoki boshqa GSM modulidan ham foydalanish mumkin. Xuddi shunday MQ135 o'rniga MQ2/MQ3/MQ5 yoki boshqa gaz-tutun sensoridan foydalanish mumkin.



2-rasm. MQ-135 gaz aniqlash sensori

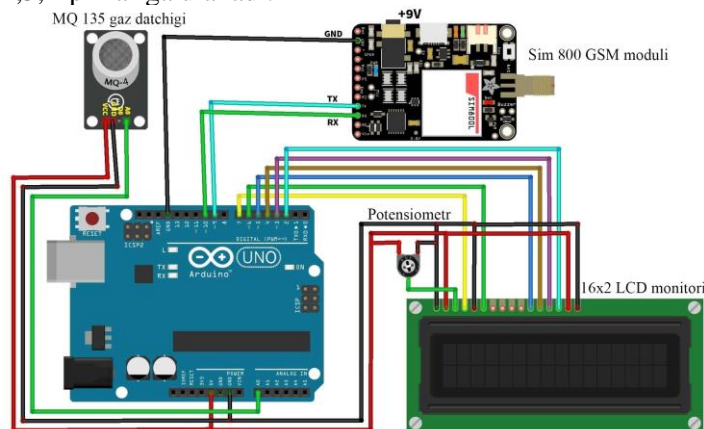
MQ-135 gaz sensori ammiak azot, kislorod, spirt, sulfid va tutun kabi gazlarni sezadi. MQ-3 gaz sensori gazni sezuvchi material sifatida havoni tozalash uchun past o'tkazuvchanlikka ega. Atmosferada ifloslantiruvchi gazlarni topish mumkin, ammo ifloslantiruvchi gaz konsentratsiyasi ortishi bilan gaz sensorining o'tkazuvchanligi ortadi. MQ-135 gaz sensori tutun, benzol, bug' va boshqa zararli gazlarni aniqlashni amalga

oshirilishi mumkin. U turli xil zararli gazlarni aniqlash imkoniyatiga ega. Bu arzon narxga ega va ayniqsa havo sifati monitoringi ilovalari uchun javob beradi. U ikkita chiqishga ega: analog chiqish va raqamli chiqish. Unda 4ta pini mavjud bo'lib, analog va raqamli pinlari Arduining mos pinlariga ulanadi. VCC pini Arduining 5V piniga ulanadi. GND piniham Arduinoga ulanadi. Ushbu sensor uzoq umr va ishonchli barqarorlikka ega. MQ135 gaz sensori to'g'risidagi ma'lumotlarni keltirib o'tamiz [3]:

- Yuqori sezuvchanlik;
- Metan, propan, butan, ammiak, sulfid va benzina yuqori sezuvchanlik;
- Barqaror, uzoq umr va arzon narx;
- Aniqlash diapazoni: 10 – 300 ppm NH₃, 10 – 1000 ppm benzol, 10 – 300 alkohol;
- Sensorning kuchlanishi: 5,0V;
- O'lchamlari: 18 mm diametr, 17 mm balandlik, pinlar – 6 mm .

Ushbu loyihani amalga oshirish uchun quyidagi 3-rasmda ko'rsatilgandek sxema taklif qilinadi.

MQ135 sensorini 5V quvvat manbai bilan ta'minlaymiz. MQ135 sensorining analogli pin A0 ni Arduining A0 analogli piniga ulaymiz. Xuddi shunday, GSM modulini 9V/12V tashqi quvvat manbai bilan taminlaymiz. Arduinoga Sim800 modulining faqat Tx, Rx va GND pinlari ulanadi. Shunday qilib, Tx va Rx-ni mos ravishda Arduining 9 va 10-pinlariga ulaymiz. Ma'lumotlar monitoringini kuzatib borish uchun LCD displeyni Arduining 7,6,5,4,3,2-pinlariga ulanadi.



3-rasm. Loyiha sxemasi

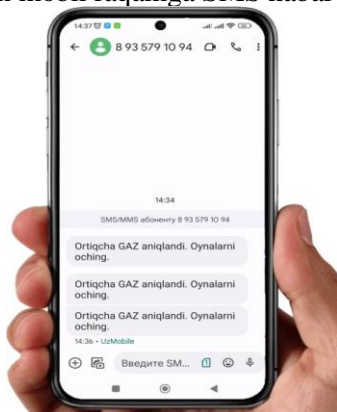
Sim800 GSM moduli, MQ135 gaz sensori va LCD ekrandan foydalangan holda SMS-ogohlantirish dasturini Arduino IDE dasturidan foydalanib tuzamiz:

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd (7, 6, 5, 4, 3, 2);
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(9, 10);
int gasValue = A0; // gaz sensor analog pinga ulanadi
int data = 0;
void setup ()
```

```
randomSeed(analogRead(0));
mySerial.begin(9600);
Serial.begin(9600);
lcd.begin(16,2);
pinMode(gasValue, INPUT);
lcd.print (" Gaz aniqlandi ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print (" Detector Alarm ");
delay(3000);
lcd.clear();
void loop()
data = analogRead(gasValue);
Serial.print("Gas Level: ");
Serial.println(data);
lcd.print ("Gas Scan is ON");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Gas Level: ");
lcd.print(data);
delay(1000);
if ( data > 500) //
SendMessage();
Serial.print("Gas detect alarm");
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Gaz miqdori ortiqcha");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("SMS Sent");
delay(1000);
else
Serial.print("Gaz miqdori pastroq");
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Gaz miqdori normada");
delay(1000);
lcd.clear();
void SendMessage()
Serial.println("I am in send");
mySerial.println("AT+CMGF=1");
delay(1000);
mySerial.println("AT+CMGS=\"+998xxxxxx\"r"); // x ni mobil raqam bilan almashtiring
delay(1000);
mySerial.println("Ortiqcha GAZ aniqlandi oynalarni oching"); // Siz yuboradigan SMS matn
delay(100);
mySerial.println((char)26);// ASCII code of CTRL+Z
delay(1000);
```

Kod yuklangandan so'ng LCD displeyda analog raqamlarda gaz darajasini ko'rsatadi. U gaz darajasi normal yoki ortiqcha ekanligini ko'rsatadi. Gaz darajasi oshib ketganda u SMS yuborilgan holatini ko'rsatadi.

Ushbu loyiha tutun yoki gaz oqib chiqishi aniqlanganda ogohlantirish tizimini ishga tushiradi. Sensor tez javob berish bilan birgalikda mukammal sezgirlikka ega. Arduino mikrokontroller tomonidan nazorat qilinadi va signalni Sim800 GSM moduliga yuboradi, xabarlarini yuborish uchun kodga quyidagi ko'rinishda mobil raqam yoziladi "+998xxxxxxx". Xonada zararli gaz oqimi aniqlanganda Arduino IDE dasturida belgilangan mobil raqamga SMS habar keladi (4-rasm).



4-rasm. Mobil telefonda SMS habar ko'rinishi

Xulosa. Raqamlashtirish texnologiyasidan foydalangan holda ushbu loyiha bino va inshoatlarning havfsizlik choralarini ko'rib, tutun va gaz miqdori meyoridan ortganda mobil telefonga SMS habarnoma jo'natadi. 3 marta ogohlantirish kelgandan so'ng binolardagi shamollatish tizimi avtomatik tarzda ishga tushadi. Yong'in kelib chiqishni oldini oladi va mobil telefondan ushbu salbiy holatlar bo'yicha muntazam kuzatuvni amalga oshiradi.

Adabiyot

1. John Boxall. Arduino Workshop. - San Francisco, 2013. - 285 c. (<http://www.tronixstuff.com/>).
2. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 400 с.: ил. — (Электроника). ISBN 978-5-9775-3337-9., - С.254.
3. Инфракрасные датчики (ИК). [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://spectrmsk.ru/news/types-of-motion-sensors>.

*Toshkent davlat texnika universiteti
tomonidan taqdim etilgan*

УДК 621.65

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ГИДРОЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ С ГЭС И ВЭС**

М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, С.Р. Жураев, Абдуазиз уулу Абдурауф

Мақолада гидроэлектростанция (ГЭС) сув энергетик режимларини ҳисоблаш учун тенгламалар тизимидан иборат модел ва гидроэнергетик мажмуа таркибига кирувчи шамол электр станцияларнинг кафолатланган қувват графиклари ишлаб чиқилган. Тенгламалар тизими ёрдамида биринчи навбатда босим йўқотишларни аниқлаш ва гидроэлектростанция агрегатлари ўртасида юкларни оптимал тақсимлаш ва соддалаштириш мумкин. ГЭСнинг ишлаш жараёнида сув омборидаги сув сатҳи, ГЭС агрегатидан чиқувчи сув сарфи, ГЭС гидроагрегатларининг максимал қуввати, сув ўтказувчи иншоотлардан ўтадиган сув сарфи, қуйи бьефдаги сув сатҳи, ГЭСдаги босим ва бошқа асосий чекловлар ҳисобга олинган. Ишлаб чиқилган моделнинг диагностик синови ўтган даврларда кузатишган иш режимларининг маълум параметрлари мавжуд бўлган гидроэлектростанцияларнинг мисоллари ёрдамида амалга оширилган. Республикада гидроэнергетикани янада ривожлантириш борасида электр энергетика соҳасида экологик тоза энергия манбаларидан кенг фойдаланиш ҳисобига изчил янги қувватлар ташиқил этишини жадаллаштиришда ишлаб чиқилган модел самарали ёрдам беради.

Калит сўзлар: гидроэнергетик мажмуа, гидроэлектростанция, сув сатҳи, сув сарфи, босим, гидроагрегат, қуйи бьеф, сув омбори, сув ўтказувчи иншоотлар.

В статье разработана модель, состоящая из системы уравнений для расчета водно-энергетических режимов гидроэлектростанции (ГЭС) и графиков гарантированной мощности ветроэнергетических установок, входящих в гидроэнергетический комплекс. С помощью системы уравнений, прежде всего, можно определить потери давления, оптимально распределить и упростить нагрузки между агрегатами ГЭС. При работе ГЭС уровень воды в водохранилище, расход воды из агрегата ГЭС, максимальная мощность гидроагрегатов ГЭС, расход воды, проходящей через водопроводные сооружения, уровень воды в нижнем водоеме, давление были учтены ГЭС и другие основные ограничения. Диагностическая проверка разработанной модели проводилась на примерах гидроэлектростанций с определенными параметрами режимов работы, наблюдавшимися в прошлом. При дальнейшем развитии гидроэнергетики республики разработанная модель эффективно помогает ускорить создание последовательных новых мощностей за счет широкого использования экологически чистых источников энергии в сфере электроэнергетики.

Ключевые слова: гидроэнергетический комплекс, гидроэлектростанция, уровень воды, расход воды, давление, гидроагрегат, нижний бьеф, водохранилище, водопропускные сооружения.

In the article, a model consisting of a system of equations for calculating the water energy regimes of a hydroelectric power plant (HPP) and guaranteed power graphs of wind power plants included in the hydropower complex have been developed. Using the system of equations, first of all, pressure losses can be determined and loads can be optimally distributed and simplified between hydroelectric power plant units. During the operation of the HPP, the water level in the reservoir, water consumption from the HPP unit, the maximum capacity of HPP hydro units, water consumption passing through the water-conducting structures, the water level in the lower reservoir, the pressure in the HPP and other main limitations were taken into account. The diagnostic test of the developed model was carried out using examples of hydroelectric power stations with certain parameters of operating modes observed in the past. In the further development of hydropower in the republic, the developed model will effectively help in accelerating the creation of consistent new capacities due to the wide use of ecologically clean energy sources in the field of electric power.

Keywords: hydropower complex, hydroelectric power station, water level, water consumption, pressure, hydro aggregate, lower bef, reservoir, water transfer structures.

Введение. Для больших водохранилищ с ГЭС уровень в верхнем бьефе определяется по основной характеристике чаши речного водохранилища – кривой зависимости объёмов водохранилища $V_{\text{вдх}}$ и соответствующих ему уровней воды Z с учётом уклона горизонта воды i_2 соответствующего гидростатическому равновесию, наблюдающемуся в среднем за рассматриваемый период времени [1,2,3]:

$$Z_t = Z(V_t, i_{\Pi}) \quad (1)$$

Объём водохранилища зависит от объёмов воды, притекающей к гидроузлу и расходов в нижнем бьефе, определяемых режимом работы гидроузла:

$$V_t = V_0 + \sum_0^t (Q_{wt} - Q_t) \cdot \Delta t; \quad (2)$$

где V_0 – начальный уровень водохранилища; $Q_{wt} = \sum \tilde{Q}_{wt}$ – проточность воды в водохранилище.

Для малых водохранилищ с ГЭС нестационарные режимы проявляются в колебаниях уровней верхнего бьефа. Неустановившийся режим в верхнем бьефе ГЭС имеет существенно более сложную физическую природу, чем в нижнем бьефе. Основные сложности возникают в тех случаях, когда на формирование режима водных масс оказывают влияние неравномерные режимы попусков воды как на данной, так и на вышерасположенной ГЭС, при небольшой инерционности водных масс в водохранилище. Кроме того, существуют отражения волн от различных

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

препятствий (плотина, шлюз и т. п.) и влияние неравномерности режима по ширине водохранилища. Следует отметить также, что на неравномерный режим водных масс, обусловленный неравномерным режимом работы ГЭС, накладываются ветровые сгоны-нагоны т.е. непериодические изменения уровня воды у берегов водоёма, возникающие под действием ветра, а также местные воронки у водозаборов турбин. Последние факторы обуславливают погрешности в измерении уровней и объёмов водохранилищ, поэтому исходная информация для решения задач идентификации параметров моделей оказывается сильно «зашумлённой».

Методы и материалы. Для анализа этих режимов в качестве модели расчёта уровней верхнего бьефа ГЭС принята модель, основанная также на методе «экспоненты»:

$$Z_t = Z(V_{t-\Delta t}, i_{\Pi}) + K_V (Z(V_t, i_{\Pi}) - Z(V_{t-\Delta t}, i_{\Pi})) + (Z_{t-\Delta t} - Z(V_{t-\Delta t}, i_{\Pi})) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{T_{vc}}}; \quad (3)$$

где $K_V = 1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_{vc}}}$ и $R_V = e^{-\frac{\Delta t}{T_{vc}}}$ – параметры неустановившегося движения воды в верхнем бьефе ГЭС.

Таким образом, для расчёта водно-энергетических режимов ГЭС создана модель, состоящая из системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\Sigma \text{эс}}(n, \bar{Q}_t) = \sum_{i=1}^n (N_{\tau_i} \cdot \eta_{\Sigma i}); \\ N_{\tau_i} = \psi_i(H_i, Q_i^{\Sigma \alpha}); \\ \eta_{\Sigma i} = \varepsilon_i(N_{\tau_i}); \\ H_i = Z_t - z_t - \Delta H_{\text{тр}i} - \Delta H_{\text{реш}}; \\ Z_t = Z(V_{t-\Delta t}, i_{\Pi}) + (Z(V_t, i_{\Pi}) - Z(V_{t-\Delta t}, i_{\Pi})) \cdot K_V + (Z_{t-\Delta t} - Z(V_{t-\Delta t}, i_{\Pi})) \cdot R_V; \\ V_t = V_0 + \sum_0^t \left(Q_{wt} - \sum_n \bar{Q}_t \right) \cdot \Delta t; \\ z_t = z(Q_{t-\Delta t}) + (z(Q_t) - z(Q_{t-\Delta t})) \cdot K_q + (z_{t-\Delta t} - z(Q_{t-\Delta t})) \cdot R_q; \\ \Delta H_{\text{реш}i} = \alpha_{\text{реш}i} \cdot (Q_i^{\Sigma \alpha})^2. \end{array} \right. \quad (4)$$

Система уравнений может быть упрощена, если предварительно решить задачу определения потерь напора и оптимального распределения нагрузок между агрегатами ГЭС. Тогда система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} Q_t^{\text{ЭК}} = \Phi(N_t^{\text{ЭК}}, H_t); \\ H_t = Z_t - z_t; \\ Z_t = Z(V_{t-\Delta t}, i_n) + (Z(V_t, i_n) - Z(V_{t-\Delta t}, i_n)) \cdot K_T + (Z_{t-\Delta t} - Z(V_{t-\Delta t}, i_n)) \cdot R_T; \\ z_t = z(Q_{t-\Delta t}) + (z(Q_t) - z(Q_{t-\Delta t})) \cdot K_q + (z_{t-\Delta t} - z(Q_{t-\Delta t})) \cdot R_q; \\ V_t = V_0 + \sum_0^t (Q_{\text{врт}} - Q_t) \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (5)$$

Ограничения, накладываемые на режим ГЭС определяются «Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ», а также техническими характеристиками оборудования и сооружений. Основные ограничения, следующие [3, 4, 7]:

1. По уровню воды в водохранилище:

$$Z_{\min} \leq Z_t \leq Z_{\max}; \quad (6)$$

где, как правило, $Z_{\min} = УМО$ (уровень мёртвого объёма), $Z_{\max} = НПУ$ (нормальный подпёртый уровень).

2. По расходу воды через агрегаты ГЭС:

$$Q_i^{\min}(H_t) \leq Q_i^{\text{за}} \leq Q_i^{\max}(H_t); \quad (7)$$

где $Q_i^{\min}(H_t)$ и $Q_i^{\max}(H_t)$ ограничения по пропускной способности гидротурбины.

3. По максимальной мощности гидроагрегатов ГЭС:

$$0 \leq N_{\text{эс}}^{\text{ЭК}} \leq N_{\text{эс}}^{\max}; \quad (8)$$

$N_{\text{эс}}^{\max}$ – сумма максимальных мощностей всех располагаемых к работе гидроагрегатов.

4. По расходу воды через водопропускные сооружения:

$$Q_{\text{д.в}} + Q_{\text{н.в}} \leq Q_{\text{в}}^{\max}(H_t, z_t); \quad (9)$$

где $Q_{\text{в}}^{\max}(H_t, z_t)$ – максимальный расход, который может быть пропущен водопропускные сооружения при данном напоре и полном открытии затворов. Характеристики водопропускных сооружений задаются полиномиальными функциями. Для донного водосброса выражается зависимостью проходящего через него расхода от напора – $Q_{\text{д.в}}(H)$.

5. По уровню воды в нижнем бьефе:

$$z_{\min} \leq z_t \leq z_{\max}; \quad (10)$$

6. По напору на ГЭС:

$$H_{\min} \leq H_t \leq H_{\max}; \quad (11)$$

7. По расходу воды через створ ГЭС:

$$Q_t \leq Q_{\max}; \quad (12)$$

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

8. По скорости изменения уровня в водохранилище:

$$\frac{dZ}{dt} \leq \delta_{\max} ; \quad (13)$$

9. По условиям выхода на заданную отметку водохранилища на конец периода планирования:

$$Z(T) \cong Z_n. \quad (14)$$

Разобьём период планирования T на a периодов, внутри которых должна обеспечиваться гарантированная выдача энергии за счёт регулирования нагрузки на ГЭС:

$$\vec{T} = (T_1, T_2, \dots, T_{j-1}, T_j, T_{j+1}, \dots, T_a). \quad (15)$$

Гарантированная мощность ВЭС при совместной работе с ГЭС зависит от периода регулирования T_j и ожидаемого ветрового режима в этом периоде. Период регулирования зависит от полезной ёмкости водохранилища и установленной мощности ВЭС, и может быть суточным, недельным, месячным и т.д. При этом, гарантированная мощность участия ВЭС в ЭК, $N_{\text{гар}_t}^{\text{ВЭС}}$, на предстоящие периоды T_j

рассчитывается из условия баланса текущей выработки на ВЭС, $N_t^{\text{ВЭС}}(m, \bar{\varphi}_t)$, и, обеспеченной аккумуляцией в водохранилище ГЭС, выработки ВЭС с учётом невязки ΔN_t [5, 6, 7, 8, 9],

$$\sum_{t=0}^{T_a} N_t^{\text{ВЭС}}(m, \bar{\varphi}_t) + = \sum_{j=1}^a \sum_{t=T_{j-1}}^{T_j} (N_{\text{гар}_t}^{\text{ВЭС}} + \Delta N_t); \quad (16)$$

где $T_j \in \vec{T}$ – j -й период регулирования нагрузки; a – количество периодов регулирования нагрузки; ΔN_t – невязка, вследствие ошибки прогноза или невозможности обеспечить требуемый режим.

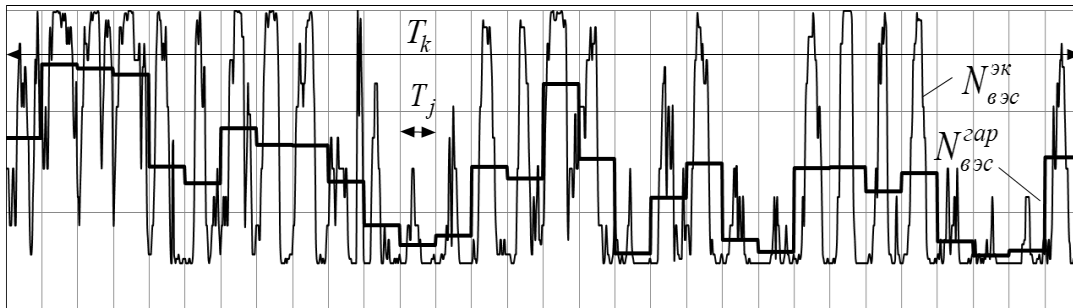


Рис. 1. График гарантированной мощности ВЭС в составе гидроэнергокомплекса

Гарантированная мощность ГЭС зависит от ожидаемого стока реки и полезной ёмкости водохранилища. При этом средний за период регулирования T_j расход гидроузла, работающего в составе гидроэнергокомплекса должен быть равен гарантированному среднему сбросному расходу через гидроузел – Q_j^{cr} :

$$Q_j^{cr} + \Delta Q_e = \frac{1}{T_j} \cdot \sum_{t=T_{j-1}}^{T_j} Q_t; \quad (17)$$

где ΔQ_e – невязка расхода. Как правило, Q_j^{cr} и допустимые пределы ΔQ_e федеральное агентство водных ресурсов (ФАВР) при установлении режимов водохранилища.

Таким образом, мощность гидроэнергокомплекса $N_t^{ЭК}(n, \bar{Q}_t, m, \bar{\alpha}_t)$ формируется как сумма гарантируемых на предстоящий период мощностей ГЭС, $N_{гар_t}^{ГЭС}$, и ВЭС, $N_{гар_t}^{ВЭС}$. Доля покрытия ГЭС в графике нагрузки внутри периода планирования меняется согласно ветровому режиму, при этом должен соблюдаться баланс мощностей:

$$\begin{cases} N_t^{ЭК}(n, \bar{Q}_t, m, \bar{\varphi}_t) = N_t^{ГЭС}(n, \bar{Q}_t) + N_t^{ВЭС}(m, \bar{\varphi}_t) = N_{гар_t}^{ГЭС} + N_{гар_t}^{ВЭС}; \\ N_t^{ЭК}(n, \bar{Q}_t, m, \bar{\varphi}_t) + \Delta N_t^{ЭК} = P_t^{нагр}; \end{cases} \quad (18)$$

где $\Delta N_t^{ЭК}$ – невязка мощности; $P_t^{нагр}$ – мощность нагрузки потребителя.

Результат. Критерии оптимизации. Задача оптимизации водно-энергетических режимов работы гидроэнергокомплекса является нелинейной задачей математического программирования с выпуклой целевой функцией и большим числом линейных режимных ограничений [7, 8, 9, 10].

В качестве главного критерия предложен критерий минимума отклонений режима ГЭК от требований установленных системным оператором для покрытия нагрузки потребителя, $\Delta E^{ЭК}$, при соблюдении наложенных ограничений и выдаче гарантированной мощности ГЭК с требуемой обеспеченностью:

$$\Delta E^{ЭК} = \int_0^{T_a} \left(\left| P^{нагр}(t) - N^{ЭК}(\bar{\varphi}, \bar{Q}, n, m, t) \right| \right) dt \longrightarrow \min. \quad (19)$$

Независимые переменные в модели различаются. При заданном сценарии нагрузки $P_{нагр}$, независимыми переменными будут $\bar{\varphi}_t, \bar{Q}_t, n, m$.

Очевидно, что чем более пологой является характеристика ГЭС, тем чаще ВЭС работает в режиме максимальной выработки. Для многоагрегатных ГЭС с поворотными турбинами $N_{вэс}^{ЭК}(\bar{\varphi}_t, m) = N_{вэс}^p(U_t, m)$. В этом случае целевая функция

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

будет иметь только три независимые переменные \bar{Q}, n, m , и задача сводится к поиску оптимальных параметров энергокомплекса и режимов работы, которые может обеспечить ГЭС не выходя из наложенных на режимы работы ограничений [7, 8, 9, 11, 12].

Критериальное уравнение решается численными методами. Период регулирования T_j разбивается на s интервалов Δt , внутри которого рассматриваются усреднённые значения параметров режима:

$$\Delta E^{\text{эк}} = \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^s \left(\left| P_{i,j}^{\text{нагр}} - N_{i,j}^{\text{эк}}(\bar{\phi}, \bar{Q}, n, m) \right| \right) \longrightarrow \min. \quad (20)$$

Можно применить также и другой путь решения - нахождение лучшего варианта или сценария среди ограниченного числа вариантов или сценариев, отобранных для анализа по логическим соображениям и практическим рекомендациям. Такой путь решения принят в настоящей модели.

Диагностическая проверка математической модели. Диагностическая проверка разработанной модели проводилась на примерах существующих ГЭС с известными параметрами режимов работы наблюдаемых в прошлые периоды. Например, сравнивались смоделированные колебания в водохранилищах ГЭС при известных диспетчерских нагрузках с реальными наблюдаемыми в створе ГЭС колебаниями уровней верхнего бьефа. Точность смоделированных режимов зависит от качества и точности исходных данных. Допустимая погрешность при аппроксимации характеристик принята – 1%, в расчётах – 5%. При отклонении от допустимых норм погрешности, вносятся поправки в модели с уточнением параметров исходных данных.

Обсуждения. Решение поставленной задачи осуществляется на основе имитационной математической модели, максимально точно отражающей реальные условия работы ГЭС и ВЭС, характеристик гидросилового оборудования ГЭС и энергетического оборудования ВЭУ, гидротехнических сооружений, водохранилища, энергосистемы и ряда других параметров.

Заключение. Метод имитационного моделирования является достаточно точным методом решения задач многоцелевой оптимизации, позволяя при этом сочетать математический подход с инженерным подходом [7, 9, 10].

Литература

1. Елистратов В.В. Ресурсы и технологии использования возобновляемых источников энергии: учеб. пособие (рус. и англ.). Елистратов В.В., Богун И.В., Денисов Р.С., Кудряшева И.Г., Романов М.В. -СПб: Политех-Пресс, 2022.
2. Федоров М.П., Акентьева Е.М., Елистратов В.В., Масликов В.И., Сидоренко Г.И. Водно-энергетические режимы гидроэлектростанций в условиях климатических изменений // Под ред. Ю.С.Васильева. -СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2017. doi:10.18720/SPBPU/2/id17-5.
3. Агальцева Н.А. Воздействие изменения климата на водные ресурсы

Узбекистана // Центрально-Азиатская Конференция по вопросам изменения климата, Душанбе, 26-27.07.2021.

4. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Кудряшева И.Г. Использование маневренных свойств ГЭС и ГАЭС в энергосистеме с возобновляемыми источниками энергии // Гидротехническое строительство, 2019, -№4. - С.14-20.

5. Y.S. Vasilyev, V.V. Elistratov, I.G. Kudryasheva, M.M. Mukhammadiyev, B.U. Urishev, "Use of maneuverable properties of hydroelectric power plants and hydro-accumulating power plants for improving reliability and operating efficiency of electric power systems of commonwealth countries (using example of power plants of Russia and the Republic of Uzbekistan)", E3S Web of Conferences, 2020, 216, 01139.

6. Борщ П.С. Методика планирования выработки электроэнергии каскада ГЭС с учетом стокообразующих и атмосферных факторов: автореф. Дис. канд. техн. наук: 05.14.08 / Павел Сергеевич Борщ. – М., 2013.

7. Елистратов В.В., Конищев М.А., Денисов Р.С., Богун И.В. Арктическая ветродизельная электростанция с интеллектуальной системой автоматического управления. // Электричество, 2022, №2, - С.29–37 doi:10.24160/0013-5380-2022-2-29-37.

8. Мардиханов А.Х. Программный комплекс оптимального планирования суточной нагрузки ГЭС / А.Х.Мардиханов, В.Н.Шарифуллин. // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, 2012, -№3-4.

9. Аттетков А.В. Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 440 с.

10. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М. Комплексное использование гидроэнергетического потенциала Узбекистана в условиях изменения климата / МНТК «Новые горизонты низкоуглеродного развития в мире и Узбекистане», 23-24 сентября 2022 года. Ташкент. – С. 62-64.

11. Елохин, В.Р. Имитационное моделирование энергетических систем / В.Р.Елохин // Вестник ИрГТУ. – 2013. – №4 (75).

12. Кораблев, Ю.А. Имитационное моделирование: учебник / Ю.А. Кораблев. – М.: КНОРУС, 2017. – 146 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 620.3

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА
НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

О.Ё. Нурматов

Ушбу мақолада насос станцияларининг иш режимларига таъсирини камайтириши учун гидравлик зарба параметрларини аниқлаш усули муҳокама қилинган. Насос станцияларида ўткинчи жараёнлар ўз характериға кўра мураккаб, динамик жараёнлардир. Ушбу жараёнларнинг боришини белгиловчи омиллар хилма-хил бўлиб, уларнинг таъсирини ҳисобға олиши жуда қийин. Босимли сув таъминоти тизимларида босимнинг ўзгариши насос агрегатларининг режасалаштирилган ва фавқулодда тўхташлари, уларнинг ишға туширилиши, насос агрегатларининг айланиши тезлигининг ўзгариши, ўчириши клапанларини ёпиши ва қувурларни сув билан тўлдиришида содир бўладиган ўткинчи жараёнларда содир бўлиши мумкин. Бундай шароитларда ўткинчи жараёнларни ҳисоблашда, гидравлик зарба пайдо бўлишининг олдини олиши учун оқим тезлиги, сув босими ва тўлқин тарқалиши тезлигининг ўзгариши таҳлил қилинган.

Калит сўзлар: насос станциялари, ўткинчи жараёнлар, қўзғатишни автоматик ростлаш, синхрон моторлар.

В данной статье рассматривается методика определения параметров гидравлического удара для уменьшения его влияния на параметры режима насосной станции. Переходные процессы в насосные станции по своей природе относятся к сложным, динамическим процессам. Факторы, определяющие протекание этих процессов, многообразны и учет их влияния весьма затруднен. Изменения давления в напорных системах водоподачи могут происходить при переходных процессах, возникающих при плановых и аварийных остановках насосных агрегатов, их пусках, изменениях частоты вращения насосных агрегатов, закрытиях запорной арматуры, заполнениях трубопроводов водой. При расчете переходных процессов в таких условиях анализировались изменения расхода, давления воды и скорости распространения волн для предотвращения возникновения гидроудара.

Ключевые слова: насосные станции, переходные процессы, автоматический регулятор возбуждения, синхронные двигатели.

This article discusses a method for determining the parameters of water hammer to reduce its influence on the operating parameters of the pumping station. Transient processes in pumping station by their nature are complex, dynamic processes. The factors that determine the course of these processes are diverse and taking into account their influence is very difficult. Changes in pressure in pressure water supply systems can occur during transient processes that occur during planned and emergency stops of pumping units, their starts, changes in the rotation speed of pumping units, closing shut-off valves,

and filling pipelines with water. When calculating transient processes under such conditions, changes in flow rate, pressure and wave speed were analyzed to prevent the occurrence of water hammer.

Key words: *pumping stations, transient processes, excitation regulation, synchronous motors.*

Переходные процессы на насосных станциях возникают при регулировании гидроагрегатов и характеризуются изменением во времени параметров режима работы: расхода, напора, мощности. Эти процессы сопровождаются неустановившимся режимом течения, при этом в напорных водоводах возникает гидроудар, а в безнапорных — волны. Повышенные нагрузки на сооружения и оборудование, при переходных процессах, следует учитывать при проектировании и эксплуатации. Термином «гидравлический удар» («гидроудар») обозначается гидродинамическое изменение давления в напорном водоводе при переходных процессах. Положительный гидроудар соответствует увеличению давления, отрицательный — уменьшению. Значения повышенных нагрузок, связанных с положительным гидроударом, необходимо знать для расчетов водоводов на прочность, с отрицательным гидроударом — для ограничения создаваемого вакуума допустимым значениям, чтобы предотвратить разрыв сплошности потока и последующий обратный гидроудар большой величины [1,2].

Переходных процессов выполняется при пусковых натурных испытаниях агрегатов насосных станций, в ходе которых воспроизводятся наиболее тяжелые условия протекания переходных процессов, принимавшиеся при выполнении расчетов. Расчеты переходных процессов требуют детального учета неустановившегося движения в напорных водоводах, характеристик гидротурбин (зависимости расхода и гидравлического вращающего момента от открытия, частоты вращения и напора), инерционных характеристик вращающихся частей агрегата. Наиболее точные результаты получаются при численном моделировании с использованием специальных программ Matlab [2,3].

Гидравлический удар оказывает существенное влияние на протекание переходных процессов агрегатов насосных станций. Кроме того, он должен учитываться при проектировании напорных водоводов и элементов проточного тракта турбин при их расчете на прочность. Положительный гидравлический удар увеличивает внутреннее давление в водоводе, поэтому требуется соответствующее увеличение толщины облицовки водовода. Отрицательный гидравлический удар снижает давление и может привести к образованию вакуума. На рис.1 пунктирной линией показан пьезометрический уровень при отрицательном гидравлическом ударе. Вакуум возникает на участке между точками а и б, он опасен только в том случае, если при этом возможен разрыв сплошности потока, т.е. когда абсолютное давление приближается к давлению водяных паров. По действующим нормам [4] максимально допустимый вакуум ограничен значением 5 м (0,05 МПа).

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Схема, иллюстрирующая определение давления с учетом гидравлического удара, приведена на рис.1. Давление определяется с использованием расчетных формул, приведенных ниже [4]:

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} = H_{ст} + \Delta H \quad \frac{P}{\rho g} = H_{cm} + \Delta H - Z - \frac{V^2}{2g}; \quad (1)$$

– для отводящего водовода:

$$\frac{P}{\rho g} = \Delta H - Z - \frac{V^2}{2g}; \quad (2)$$

где $P/\rho g$ – пьезометрический напор; $H_{ст}$ – статический напор (на рис.1 обозначен как H_0); ΔH – гидравлический удар; Z – высотное положение оси водовода относительно нижнего бьефа (НБ);

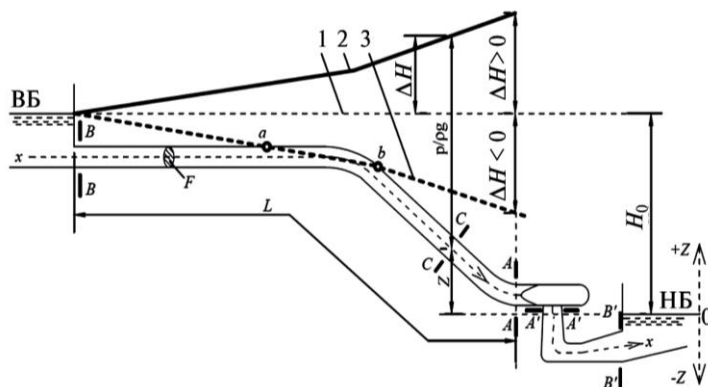


Рис.1. Гидравлический удар в напорном водоводе: 1 – пьезометрическая линия при нулевом расходе; 2 – линия повышенного давления с учетом гидравлического удара; 3 – линия пониженного давления с учетом гидравлического удара

V – скорость потока; g – ускорение свободного падения; последний член уравнений учитывает влияние скоростного напора [4,5].

В расчетах гидравлического удара могут использоваться две модели [4,6]:

- жесткая модель гидравлического удара (жесткий гидроудар), в которой жидкость и водовод считаются недеформируемыми;
- упругая модель гидравлического удара (упругий гидроудар), в которой учитываются упругие деформации жидкости и водовода, вызываемые изменением внутреннего давления.

Жесткая модель гидравлического удара менее точная, но более простая в математическом описании. Опыт расчетов и натурных испытаний показывает, что обе модели могут давать близкие результаты в случае коротких водоводов и длительного времени закрытия (открытия) турбин [7,8].

Рассмотрим водовод с площадью сечения F и длиной L между сечениями A и B (см. рис. 1). Пусть ось x совпадает с осью водовода и направлена от бьефа к турбине.

Для подводящего водовода это направление от сечения B , к сечению A ; для отводящего водовода – направление от сечения A' к сечению B' . В дальнейших выкладках учтено, что для турбинного режима течения от верхнего бьефа (ВБ) к нижнему принятое направление оси x отвечает положительному направлению скорости (расхода) [4,9].

Формулу для расчета гидравлического удара по жесткой модели получаем из теоремы количества движения:

$$\frac{d(mV)_x}{dt} = \sum X ; \quad (3)$$

где m – масса жидкости в водоводе, $m = \rho FL$; ρ – плотность воды; V – скорость воды; $\sum X$ – сумма проекций на ось x внешних сил, действующих на выделенный отсек длиной L . Для упрощения выкладок введем понятие «потенциальный напор» H , определяемый как сумма пьезометрического напора $P/\rho g$ и высотного положения оси Z водовода относительно НБ [10]:

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} = H_{CT} + \Delta H . \quad (4)$$

Потенциальный напор при пренебрежении потерями напора имеет следующие свойства:

- не зависит от продольного профиля водовода;
- в установившемся режиме напор для всех сечений подводящего водовода равен статическому напору $H_A = H_B = H_{CT}$, а для всех сечений отводящего водовода – нулю;
- в переходном процессе определяется как сумма статического напора и гидроудара [11,12,13].

На переходные процессы оказывают влияние большое количество факторов, например, наличие в трубах растворенного в жидкости воздуха, деформационная податливость стенок труб и другие явления. В частности, было установлено, что на характер нестационарных процессов в трубопроводных системах кардинальное влияние оказывают кавитационные разрывы сплошности жидкости, которые могут возникать в любой точке системы при падении давления ниже величины давления насыщенных паров жидкости. В последнее время в связи с частыми отключениями электроэнергии участились случаи возникновения гидроударов, поэтому более острой становится потребность в защите от них [14,15,16].

Определение характера переходного процесса и значений параметров режима можно проводить на основе уравнений [17,18]:

- для напора:

$$y(x, t) = A \left(\frac{x}{L} - 1 \right) + \frac{2Ag}{\pi} \exp(-mt) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\cos q_n t + \frac{m}{q_n} \sin q_n t \right) \sin \frac{n\pi}{L} x ; \quad (5)$$

- для изменения скорости жидкости:

$$v(x, t) = \left[\frac{Ag}{2mL} (\exp(-2mt) - 1) \right] + \frac{2Ag}{L} \exp(-mt) \sum_{n=1}^{\infty} \sin q_n t \cos \frac{n\pi}{L} x . \quad (6)$$

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Пусть на насосных станции орошения установлены 8 агрегатов мощностью 10500 кВт каждый, с подачей расхода $10 \text{ м}^3/\text{с}$, напором $H_0 = 40 \text{ м}$, диаметром напорного трубопровода 3,96 м, длиной $L = 1100 \text{ м}$, и скоростью подачи $v_0 = 1.8 \text{ м/с}$. Можно определить возможность появления удара, его параметры и характер переходного процесса при ударе, в различных участках трубопровода. Задачу решим на основе программного комплекса MATLAB и формул (5-6) при $n=3$. Результаты расчета приведены на рис. 2.

Различие в приведенных характеристиках объясняется прежде всего длиной трубопровода, его диаметром и режимными параметрами – скорости жидкости, напором [19].

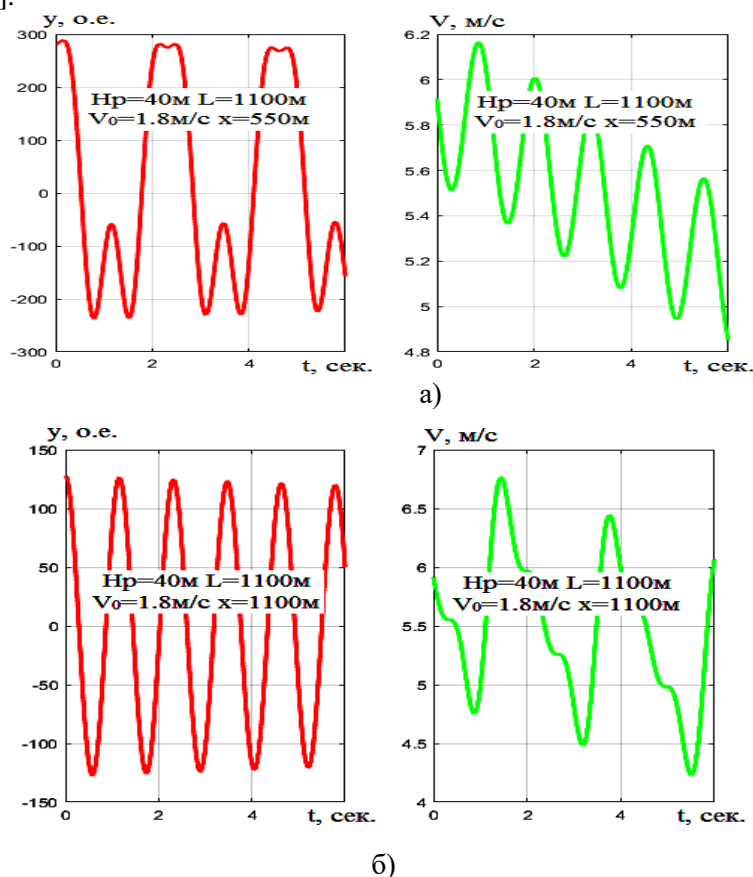


Рис. 2. Влияние длины трубопровода на изменения напора и скорости при гидравлическом ударе, произошедшем при мгновенном закрытии запорной арматуры за насосом: а) $x = 550 \text{ м}$, б) $x = 1100 \text{ м}$

Известно, что переходные процессы в насосные станции возникают чаще всего при включении и выключении насосов, а также при открытии и закрытии

задвижек. Гидравлический удар является следствием быстрого выполнения одного или нескольких перечисленных действий и может усугубляться наличием воздушных пузырьков в трубах.

Использование резервов гидромеханической части насосной станции, заключается в уменьшении износа гидромеханического оборудования, путем сокращения количества пусков и остановов насосных агрегатов, в снижении вероятности возникновения аварий, вызванных гидравлическими ударами, благодаря плавному изменению режимов работы насосов, недопущению достижения разгонной скорости, путем применения современных, регулирующих и запорных устройств, а также электрического торможения агрегата. Здесь основная задача предотвращение гидравлического удара и подавление гидромеханических колебаний.

Литература

1. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Ситдииков Р.А. Переходные процессы насосных станций /Под ред. проф. М.М. Мухаммадиева. -Т.:Фан ва технология. 2012, -226 с.
2. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. / Под ред. академика Салимова А.У. - Т.: Fan va texnologiyalar nashriot – matbaa uyi. 2021,-951 с.
3. Абрамович Б.Н., Круглый А.А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей. - Л. : Энергоатомиздат: Ленингр. отд-ние, 1983. - 128 с.
4. Муравьев О. А. Переходные процессы на гидроэлектростанциях : учеб. пособие / О. А. Муравьев. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 110 с.
5. Allayev, K., Makhmudov, T.: Research of small oscillations of electrical power systems using the technology of embedding systems. *Electr. Eng.* 102(1), 309–319 (2020).
6. Лищенко А.И. Синхронные двигатели с автоматическим регулированием возбуждения. - Киев Изд-во «Техника», , 1969. – 192 с.
7. Петелин Д.П. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных двигателей. М.-Л., Госэнергоиздат, 1961, 105 с.
8. Allayev, K.R., Makhmudov, T.: Analysis of small oscillations of complex electrical systems. *E3S Web Conf.* 216, 01097 (2020).
9. Nurmatov O. Yo. Analysis of continuances transition processes at abrupt power no balance. //International Journal of Technical Sciences. 2019, vol. 1, issue 3, pp. 15-19.
10. Allayev K., Nurmatov O., Makhmaraimova Calculation experimental studies of transition processes in electricity systems with account of hydroenergy installations. (*Journal of Critical Reviews* ISSN- 2394-5125 VOL 7, ISSUE 13, 2020) <http://www.jcreview.com/index.php?iid=2020-7-13.000&&jid=197&lng>.
11. Nurmatov O. Large pumping stations as regulators of power systems modes. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), vol. 216, pp. 1–4. *E3s Web of Conferences* (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601097>.
12. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для вузов. - М.:Высшая школа, 1978. -Изд. 3-е, перераб. -415 с.

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

13. Абрамович Б.Н., Круглый А.А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей. - Л.: Энергоатомиздат: Ленингр. отд-ние, 1983. - 128 с.

14. АС SU 1229441 Устройство управления насосом / В.Н. Машков, Б.Д. Асатуров, Р.А. Усманов, А.В. Хохлов и А.М. Яхъябаев/ Бюл. № 17, 1986 (прототип).

15. Jing Shi, Ying Xu, Meng Liao, Shuqiang Guo, Yuanyuan Li, Li Ren, Rongyu Su, Shujian Li, Xiao Zhou, Yuejin Tang Integrated design method for superconducting magnetic energy storage considering the high frequency pulse width modulation pulse voltage on magnet Applied Energy, Volume 248, 2019.

16. Felipe M.Pimenta, Arcilan T. Assireu Simulating reservoir storage for a wind-hydro hybrid system Renewable Energy, Volume 76, 2015.

17. Green hydrogen cost reduction scaling up electrolyzers to meet the 1.5°C climate goal. IRENA. 2020. 106 p.

18. Andreas Rosenstiel, Nathalie Monnerie, Jürgen Dersch, Martin Roeb, Robert Pitz-Paal, Christian Sattler. Electrochemical Hydrogen Production Powered by PV/CSP Hybrid Power Plants: A Modelling Approach for Cost Optimal System Design. Energies 2021, 14, 3437. <https://doi.org/10.3390/en14123437>.

19. Blue hydrogen as accelerator and pioneer for energy transition in the industry. Feasibility study report. July. 2019. 90 p.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 626/627

**ГРУНТЛИ ТЎҒОННИНГ ХАВФСИЗЛИГИНИ БАҲОЛАШ БЎЙИЧА НАТУРА
ТАДҚИҚОТЛАРИ****Д.Т. Палуанов, Д.К. Оспанова, Д.А. Маматкулов, С.К. Гадаев, Ф.С. Саидов**

Иншоот гребенидан сувнинг ошиб тушишига олиб келувчи омиллардан бири грунтли тўғон танасининг чўкишини аниқлашдир. Грунтли тўғон танасининг чўкиши меъёрий ҳужжатларда кўрсатилган талаблар асосида олиб борилган. Геодезик ўлчов ишлари Лангар сел-сув омбори грунтли тўғони мисолида ўтказилди. Грунтли тўғон гребени чўкишини аниқлаш бўйича такрорий геодезик ўлчов ишлари (иккинчи цикл) ўтказилган. Геодезик ўлчов ишлари натижалари бўйича кўриб чиқилаётган объект гребени чўкишининг бўйлама профили қурилган. Грунтли тўғон гребени чўкишининг кузатилаётган давридаги цикларида 33 мм ни ташиқил этган. Геодезик ўлчов ишлари натижасида олинган кўрсаткичларни меъёрий ҳужжатларда келтирилган кўрсаткичлар билан солиштирилганида иншоотнинг хавфсизлик ҳолати таъминланган, бу эса грунтли тўғон гребенидан сувнинг ошиб тушишига олиб келмайди.

Калит сўзлар: *грунтли тўғон, сув омбори, хавфсизлик, чўкиш, гребень, геодезик ўлчов ишлари, фильтрация.*

Одним из факторов, приводящих к переливу воды через гребень сооружения является правильное проведение осадка тела земляной плотины. Осадка тела земляной плотины производится на основании требований, указанных в нормативных документах. Геодезические измерения проводились на примере земляной плотины Лянгарского водохранилища. Проведены повторные геодезические измерения (второй цикл) для определения осадки гребня земляной плотины. По результатам геодезических измерений построен продольный профиль осадки гребня рассматриваемого объекта. За период наблюдений осадка гребня земляной плотины составила 33 мм в циклах. Показатели, полученные в результате геодезических измерений, при сравнении с показателями, приведенными в нормативных документах, показали, что безопасное состояние сооружения обеспечивается, и не приводит к переливу воды через гребень земляной плотины.

Ключевые слова: *земляная плотина, водохранилище, безопасность, осадка, гребень, геодезические измерения, фильтрация.*

One of the factors leading to the overflow of water over the crest of a structure is the determination of the settlement of the earthen dam body. The settlement of the earth dam body was carried out on the basis of the requirements specified in the regulatory documents. Geodetic measurements were carried out on the example of the earthen dam of the Lyangar reservoir. Repeated geodetic measurements (second cycle) were carried out to determine the settlement of the crest of the earthen dam. Based on the results of geodetic

measurements, a longitudinal profile of the draft of the crest of the object under consideration was constructed. During the observation period, the settlement of the crest of the earthen dam was 33 mm in the cycles. The indicators obtained as a result of geodetic measurements, when compared with the indicators given in the regulatory documents, showed that the safe condition of the structure is ensured, which does not lead to water overflowing over the crest of the earthen dam.

Keywords: earth dam, reservoir, safety, settlement, crest, Geodetic measurements, filtration.

Кириш. Сув омборларининг грунтли тўғонларини лойихалаштириш ва қуриш нафақат сув ресурсларидан самарали нуктаи назардан, балки хавфсизлигини баҳолаш ва гидродинамик аварияларнинг олдини олишда муҳим ҳисобланади.

Фойдаланилаётган грунтли тўғонларда олиб борилган кузатувлар ва эксплуатация маълумотлари натижаларининг таҳлили шуни кўрсатдики, авария ҳолатларига олиб келувчи ва ишончлилигига таъсир этувчи гидрологик, техник ва экологик омиллар оқибатида рўй бериши мумкинлигини ифодалайди. Йиғилган материаллар умумлаштирилиб ва таҳлил қилиб, барча грунтли тўғонлар ҳолатига таъсир этувчи омиллар куйидагилар ифодаланади: сув омборларини меъёридан ортиқ тўлиб кетиши (жумладан, лойқа чўкиши, қирғоқлар бузилиши ва ўпирилиши, кўчклар ва бошқалар), бу эса кейинчалик тўғондан сувнинг ошиб тушишига олиб келиши мумкин; грунтли тўғонларнинг юқори қиялигидаги ҳимоя элементларининг бузилиши; грунтли тўғонлар танасидаги фильтрация жараёнларининг ўзгариши; грунтли тўғонлар танасининг меъёридан ортиқ чўкиши ва силжиши; сув чиқарувчи ва ўтказувчи иншоотлардаги носозликлар; дренажлар ва туннеллардаги ўзгаришлар; пастки бьефнинг ювилиши ҳамда охириги туташтирувчи иншоотларнинг бузилиши; иншоотнинг электр ва механик қисмларини ишдан чиқиши; сув сифатининг ёмонлашуви (агрессивлашуви) ва бошқалар [1-5].

Қайд этилган омилларнинг юзага келмаслиги ёки унинг таъсирини камайтиришни таъминлаш учун уларга алоҳида илмий ёндашув асосида юзага келиш сабабларини аниқлаш ва ушбу сабабларни олдини олиш чора-тадбирларини белгилаб амалга ошириш лозим [6].

Тадқиқот усуллари. Фойдаланилаётган грунтли тўғонлар хавфсизлигини кузатиб бориш имкониятини берадиган натура кузатувлари ўтказилади. Натура кузатувлар таркиби ва ҳажми лойихалаштириш кўрсатмалари, меъёрий ҳужжатлар билан иншоот синфига, заминнинг муҳандислик-геологик тузилиши хусусиятларига, экологик вазиятга ва бошқаларга қараб белгиланади. Грунтли тўғонлардан фойдаланиш қоидаларини бузилиши уларнинг чўкишлари ва силжишига олиб келиши мумкин [7].

Сув омборлари грунтли тўғонлари танасининг меъёрдан ортиқ чўкишини баҳолаш учун барча кузатув маълумотлари, лойиха ва меъёрий ҳужжатларга асосланган ҳолда амалга оширилади [8,9]. Иншоотдан фойдаланиш даврида кузатилган тўғон танасининг чўкиши лойихада кўрсатилганидан ошиб кетмаслиги керак, яъни:

$$S_k < S_n ; \quad (1)$$

бу ерда: S_k ва S_n – кузатилган ва лойиҳавий чўкиш.

Геодезик ўлчов ишлари Лангар сел-сув омборининг грунтли тўғони мисолида ўтказилди. Лангар сел-сув омбори Қашқадарё вилояти Қамаши тумани марказидан 15,0 км узокликда Лангар дарёсида жойлашган. Сел-сув омбори Лангар дарёсининг сел оқимларини тўплаш учун 1971-1973 йиллари қурилган бўлиб, 1973 йили декабрь ойида доимий фойдаланишга қабул қилинган. Сел-сув омборининг лойиҳа бўйича сув қабул қилиш ҳажми 4,3 млн.м³. Сел-сув омбори ўзанли ҳисобланиб, мавсумий бошқарилади. Ирригация ва сел оқимларидан химоя қилиш ва уларни трансформация қилиш учун мўлжалланган. 1974-1987 йилларда суғориш учун сел оқимларининг бир қисмидан фойдаланган ҳолда тўғоннинг баландлигини кўтариш ҳисобига умумий ҳажми 7,3 млн.м³ гача оширилиб, реконструкция қилинган. Сел-сув омбори иншоотлари таркиби 206 м³/с га мўлжалланган ҳалокатли сув ташлаш иншоотини қурилиши билан тўлдирилган. Натижада сел-сув омбори сув омборининг ишлаш режимига ўтган. Сел-сув омбори сувлари билан 2,4 минг гектар қишлоқ хўжалиги экин майдонларини суғоради. Иншоот II синфга мансуб.

Сел-сув омборининг абсолют отметкалари: жадаллашган димланиш сатҳи – 660,20 м; нормал димланиш сатҳи – 658,20 м; фойдаланилмайдиган ҳажм – 633,00 м. Нормал димланиш сатҳида сув омбори косасининг майдони (юзаси) 0,7 км², узунлиги – 1,85 км, кенлиги – 0,7 м, максимал чуқурлиги – 27 м, шундан 2011-2020 йилларда олиб борилган тадқиқотлар бўйича 12-13 метрини лойқа босган. Сел-сув омборини сув билан тўлдириш 1975 йили бошланган ва уни нормал димланиш сатҳига етказиш 1998 йили эришилган. “Ўздавсувлойиҳа” институтининг маълумотларига кўра, сел-сув омборининг лойқа босиш ҳажми 2,98 млн.м³ ни ташкил этган, фойдали ҳажми эса 4,37 млн.м³ га камайган (1-расм).



1-расм. Сел-сув омбори косаси ҳолати



2-расм. Тўғоннинг қиялиги ҳолати

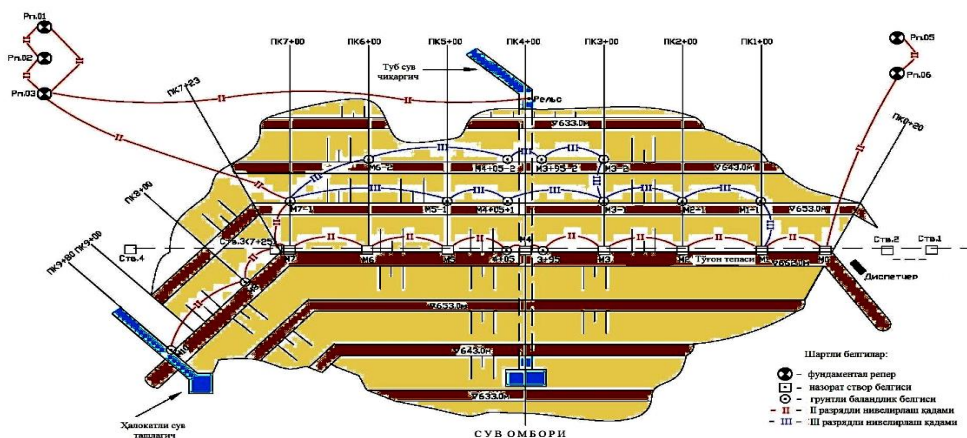
Тўғон танаси грунтли, бир жинсли, суглинок грунтдан барпо этилган. Юқори қиялик қалинлиги 12 см бўлган монолит темир-бетон билан мустаҳкамланган, пастки

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

қиялик қалинлиги 1,5-2,0 м бўлган гравий-шағал билан тўлдирилган (ётқизилган). Тўғон куйидаги параметрларга эга: тўғон устки қисми отметкаси – 662,30 м; тўғон устки қисми бўйича узунлиги – 1050 м; максимал баландлиги – 34,0 м; тўғон устки қисми бўйича кенлиги – 10,0 м; қияликларни ётқизиш: юқори – 2,5 и 2,75; пастки – 2,5, 2,75 ва 3,0; тўғон замини бўйича максимал кенлиги – 186,7 м; юқори қиялик бермасининг ва ҳар бири 4,0 м бўлган пастки қияликнинг иккита бермасининг кенлиги (2-расм).

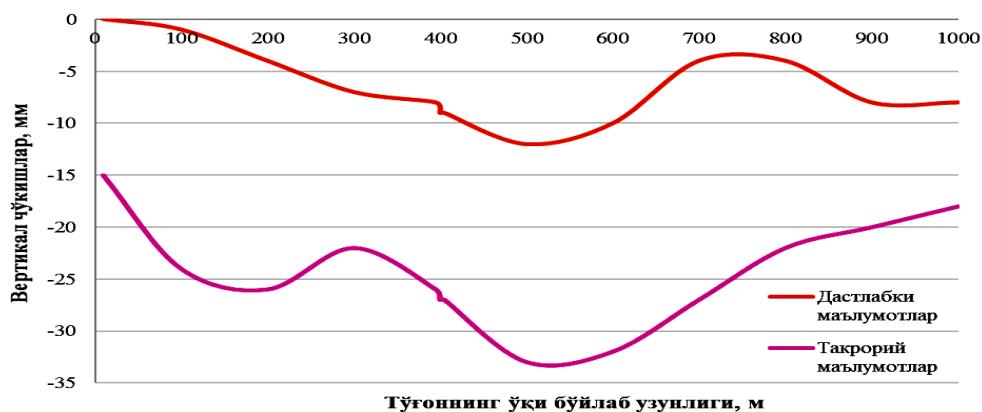
Тадқиқот натижалари. Тўғон гребенининг вертикал чўкишини ноль циклда кузатув ишларини бажариш учун назорат-ўлчаш аппаратлари ўрнатилган. Фундаментал реперларнинг иккитаси ўнг ва чап қирғоқларда жойлашган. Тўғон гребенида 10 та баландлик белгилари ўрнатилган бўлиб, улардан 8 таси режалаштирилган баландлик белгилардир (3-расм).

Ишларни бажаришдан олдин меъёрий ҳужжатларга мувофиқ асбобларни тадқиқ қилиш ва текшириш ишлари амалга оширилди. Геодезик ўлчов ишларини ўтказишда янги замонавий “Dini-12” нивелиридан фойдаланилди, унинг аниқлиги бошқа ўлчов асбобларига қараганда икки барабар юқори ҳисобланади. Эксплуатация ходимлари билан ҳамкорликда фундаментал реперларнинг ҳолати ўрганилганида улар барқарор ҳолатда эканлиги аниқланди.



3-расм. Баландликни кузатишлар схемаси

2000-2002 йилларда “Давсувхўжаликназорат” Давлат инспекцияси ходимлари томонидан Лангар сел-сув омбори грунтли тўғони танасининг вертикал чўкиши бўйича дастлабки геодезик ўлчов ишлари олиб борилганида унинг ўртача чўкиши 15 мм ни ташкил қилган. 2018-2020 йилларда “Эксплуатация қилиб келинаётган гидротехника иншоотлари ҳавфсизлик категорияларини баҳолаш нормаларини ишлаб чиқиш” мавзусидаги амалий лойиҳаси доирасида ушбу тўғон танасининг вертикал чўкишини кузатиш бўйича такрорий геодезик ўлчов ишларининг иккинчи цикли амалга оширилди ва тўғон гребенининг вертикал чўкишлари натижалари 4-расмда келтирилган.



4-расм. Тўғон устки қисмининг вертикал чўкишлари

Геодезик ўлчов ишлари натижалари таҳлили шуни кўрсатмоқдаки, Лангар сел-сув омбори грунтли тўғони гребенининг чўкиши кузатув даврида 15 мм дан (1-цикл) 33 мм гача (2-цикл) ортиб борган.

Меъёрий ҳужжатлар бўйича грунтли тўғонлар гребенининг чўкиши бир йил мобайнида тўғон баландлигининг 0,02% дан ошмаса, унда тўғон чўкиши барқарорлашган деб ҳисобланади. Бундан хулоса қилиш мумкинки, фойдаланиш даврида грунтли тўғоннинг хавфсизлик ҳолати таъминланмоқда.

Хулоса. Лангар сел-сув омбори грунтли тўғонининг техник ҳолатини ва хавфсизлигини кузатиб бориш имкониятини берадиган натура кузатувлари ўтказилди. Грунтли тўғон гребенининг чўкишини аниқлаш бўйича тақрорий геодезик ўлчов ишлари (иккинчи цикл) амалга оширилди ва тадқиқот натижалари бўйича чўкишнинг бўйлама профили қурилди. Геодезик ўлчов ишларидан олинган кўрсаткичлар меъёрий ҳужжатларда берилган кўрсаткичлар билан солиштирилганида грунтли тўғоннинг хавфсизлиги таъминлаётганлигини кўрсатган, бу эса грунтли тўғон гребенидан сувнинг ошиб тушишига олиб келмайди.

Адабиёт

1. Бакиев М. Р. Анализ проблем надежной и безопасной эксплуатации грунтовых плотин водохранилищных гидроузлов // Ирригация и мелиорация. 2018. № 3(13). - С. 10-13.
2. Волосухин В. А. Факторы, определяющие безопасность гидротехнических сооружений водохозяйственного назначения // Мониторинг: Наука и безопасность. 2014. № 3(12). -С. 7-8.
3. Гаппаров Ф.А., Нарзиев Ж.Ж. Сув омбори тошиб кетишини башорат қилиш ва уни олдини олиш // “Гидротехника иншоотларининг самарадорлиги, ишончилиги ва хавфсизлигини ошириш” мавзусида Халқаро илмий-амалий анжумани. – Тошкент, ТИҚХММИ, 2018. – Б. 196-199.

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

4. Оспанова Д.К. Фойдаланилаётган грунтли тўғонлар хавфсизлигига таъсир этувчи омиллар // “Ишлаб чиқаришнинг техник, муҳандислик ва технологик муаммоларининг инновацион ечимлари” мавзусидаги халқаро миқёсидаги илмий-техник анжумани материаллари тўплами. II-қисм. – Жиззах, 2022. – Б. 245-247.
5. F. Jafarzadeh, A. A. Garakani, M. Banikhier, Safety measures for earth dams on basis of instrumentation data, dam site location and reservoir volume // Sustainable and Safe Dams Around the World. – P. 2284-2297. DOI:10.1201/9780429319778-204.
6. Ўзбекистон Республикасининг “Гидротехника иншоотларининг хавфсизлиги тўғрисида”ги ЎРҚ-865-сон Қонуни. – Тошкент, 2023.
7. Правила проведения натуральных наблюдений за работой бетонных плотин. 2003. СПб., ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева». 2003.- 22 с.
8. Ospanova D. K. The results of vertical movement of operating earth dam // International scientific and practical conference “CUTTING-EDGE SCIENCE 2022”. USA, 2022. P. 54-56.
9. Оспанова Д.К., Палуанов Д.Т. Грунтли тўғонлардан фойдаланиш хавфсизлигини ошириш // Ўзбекистонда илмий тадқиқотлар: даврий анжуманлар. 16-қисм. – Тошкент, 2022. – Б. 21-22.

*Тошкент Давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.311

**МИКРОГЭС С ТУРБИНОЙ БАНКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГИДРОПОТЕНЦИАЛА В КАНАЛАХ****М.М. Мухаммадиев, С.К. Гадаев**

Мақолада кўёш ва шамол станцияларидан фарқли ўлароқ, арзонроқ электр энергияси ишлаб чиқарадиган ва одатда прогноз қилинадиган ва об-ҳавонинг инжиқликларига камроқ боғлиқ бўлган кичик гидроэлектростанциялар ёрдамида кичик сув оқимларининг энергиясидан фойдаланиш масаласи кўриб чиқилади. “Ўзбекгидроэнерго” акциядорлик жамияти ва “Сувсаноатмаш” акциядорлик жамияти томонидан корхоналарни ишончли электр энергияси билан таъминлаш, фермер хўжаликлари фаолиятини яхшилаш ва аҳолининг турмуш сифатини яхшилаш мақсадида қуввати 10 кВт бўлган микроГЭС ишлаб чиқилди ва синовдан ўтказилди.

Калит сўзлар: энергетика тизими, электр энергияси, кучланиш, частота, қувват, микроГЭС, эркин оқимчали, сув сарфи, қайта тикланувчи энергия.

В статье рассмотрен вопрос использования энергии небольших водотоков с помощью малых гидроэлектростанций, которые в отличие от солнечных и ветровых станций, производят более дешевое электричество, в целом более предсказуемы и меньше зависят от капризов погоды. Со стороны АО «Ўзбекгидроэнерго» и АО «Сувсаноатмаш» была разработана и испытана микроГЭС мощностью 10 кВт отвечающая требованиям надежности энергоснабжения новых предприятий, позволяющая улучшить работу фермерских хозяйств и повысить качество жизни людей.

Ключевые слова: энергетическая система, электричество, напряжение, частота, мощность, микроГЭС, свободный поток, расход воды, возобновляемые источники энергии.

The article examines the issue of using the energy of small watercourses with the help of small hydroelectric power plants, which, unlike solar and wind stations, produces cheaper electricity and is generally more predictable and less dependent on the vagaries of the weather. On the part of Uzbekhydroenergo JSC and Suvsanoatmash JSC, a micro-hydroelectric power station with a capacity of 10 kW was developed and tested to ensure reliable power supply to enterprises, improve the operation of farms and improve the quality of life of people.

Key words: energy system, electricity, voltage, frequency, power, micro-hydroelectric power station, free flow, water flow, renewable energy sources.

В мире и Узбекистане на сегодняшний день наблюдается стремительный рост потребления электроэнергии, связанный с увеличением населения Земли, что влечёт

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

за собой истощение природных ресурсов, а также изменение климата, связанное с выбросами парниковых газов в атмосферу при сжигании природного топлива для выработки электроэнергии. Для решения этих проблем необходимо увеличение доли выработки электроэнергии из возобновляемых источников энергии.

В Узбекистане гидроэнергетика занимает важное место в энергосистеме страны. С учетом принимаемых мер, можно полагать, что ее позиции только укрепятся.

В настоящее время большой акцент делается на смещение от гигантских гидросооружений к строительству малых и микроГЭС, каскадов из станций, которые эффективно обеспечивают население и промышленность близлежащих территорий дешевой энергией.

Согласно Постановления Президента Узбекистана от 10 декабря 2021 года «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию гидроэнергетики» (ПП-44), а также в целях обеспечения исполнения Указа Президента Республики Узбекистан от 8 апреля 2022 года № УП-101 [1], республика планирует реализовать в 2023 - 2024 годы 12 проектов строительства ГЭС мощностью 150 МВт, и в 2025 - 2026 годы - 2 проекта мощностью 420 МВт.

Для решения этих задач государство выделяет большие финансовые средства. Так, в перечень инвестиционных проектов входит строительство сорока двух новых и модернизация тридцати двух действующих объекта водного хозяйства. Важным преимуществом малой гидроэнергетики является то, что объекты возможно устанавливать в отдаленных уголках, куда сложно и дорого тянуть линии электропередачи. И такие установки позволяют сделать поставку электроэнергии бесперебойной, открывать новые предприятия, улучшить работу фермерских хозяйств и повысить качество жизни людей.

Такие мероприятия требуют крупных вложений, сложной процедуры лицензирования. Если опыт использования малых ГЭС в нашей стране уже имеется, то микроГЭС — это еще новинка; экономические показатели для таких установок рассчитать довольно сложно.

Свободнопоточные микроГЭС позволяют более экономично, решать проблему электроснабжения маломощных потребителей электроэнергии, удаленных от линий электропередач, с помощью строительства гидроэлектростанций малой мощности или микроГЭС при наличии рек с необходимым запасом гидроресурсов.

Свободнопоточные микроГЭС должны обеспечивать, по результатам наших исследований, мощности от 1 до 10 киловатт. Условия установки микроГЭС возникают на горных реках и крупных каналах, арыках и водотоках с большой скоростью течения (от 1,7 до 2,5 м/сек и более). Предварительные расчеты, показали, что микроГЭС для индивидуальных потребителей в быту мощностью не более 5 кВт можно получить на струе поперечным сечением около 0,3-0,5 м² со скоростью около 2,0... 2,5 м/сек.

Использование энергии малых рек сулит существенные выгоды по снабжению электрической энергией индивидуальных потребителей. Поэтому создание технического средства для выработки электрической энергии на водных потоках с

малым расходом, позволит улучшить быт сельчан, дачных поселков, фермерских хозяйств, а также небольших производств в отдаленных, горных и труднодоступных районах. Этому способствует предлагаемая методика расчета [2].

Произведём обзор возможных вариантов исполнения микроГЭС как источника энергии на свободном потоке без гидротехнических работ и строительства сооружений, или выполняя их в минимальном объёме [3].

Работа таких установок основана на использовании кинетической энергии потока, так называемого скоростного напора $H = v^2/2g$, и они называются свободнопоточными микроГЭС (рис.1).

Сейчас в Узбекистане активно используется гидроэнергетический потенциал: это 650 рек, протекающих по территории республики, многочисленные ирригационные каналы и водохранилища. Изученный гидроэнергетический потенциал Узбекистана оценивается в 27,5 миллиарда кВт.час в год. В настоящее время страна использует лишь около 30% технического гидроэнергетического потенциала.

Имеются проблемы в области гидроэнергетики, которые кроются во многих областях: проблема подготовки кадров, а также отсутствие материально-технической базы для модернизации существующих объектов.

Со стороны АО «Узбекгидроэнерго» и АО «Сувсаноатмаш» была разработана перспективная программа по повышению надежности энергоснабжения на период 2022-2025 гг., бесперебойной поставке электроэнергии для новых предприятий; планируется улучшить работу фермерских хозяйств и повысить качество жизни людей.

В рамках этой программы предлагается микрогидроэлектростанция мощностью до 10 кВт в комплекте с:

- энергоблоком;
- блоком балластной нагрузки;
- устройством автоматического регулирования;
- водозаборным устройством.

Установка выполнена на базе полученного патента IAP № 03639 «Свободнопоточная микроГЭС» [4] с участием кафедры «Гидроэнергетика и гидравлика» составом проект с рабочими чертежами, утверждёнными в установленном порядке.

МикроГЭС установлена на бетонном лотке высотой 2000 мм и шириной 2000мм, где протекает очищенная сбросная вода; уровень воды в лотке 610 - 1210 мм., скорость водного потока 1,282 м/сек., а расход сбрасываемой воды через лоток 1,56 - 3,2 м³/сек; и разница уровня воды от лотка до места установки микроГЭС – 3,2 - 3,5 м (рис.1 и рис.2).

В соответствии с Нормативной технической документацией (НТД) изготовителя, микроГЭС эксплуатируется на открытом воздухе, на сбросе очищенной воды в водный бассейн реки Чирчик, с температурой окружающей среды.

Материалы и элементы конструкции выполнены из материала с химической стойкостью к коррозии и атмосферному воздействию.



Рис.1. Установленная свободнопоточная микроГЭС на бетонном лотке (поток очищенной сбросной воды города Чирчик)

Климатическое исполнение: умеренно холодный (УХЛ), категория размещения 2 по ГОСТ 15150.

Расход воды свободнопоточной микроГЭС $Q_{МГЭС}$ – это количественный показатель, который характеризует величину водного потока канала, необходимую для получения мощности $N_{МГЭС}$.

Мощность свободнопоточной микроГЭС, будучи зависимой от графика нагрузки или запрограммированных значений $N_{МГЭС}$, напрямую влияет на величину расхода $Q_{МГЭС}$, она может иметь разные значения в течение времени (табл.1).

Расход свободнопоточной микроГЭС $Q_{МГЭС}$ в момент времени t можно определить следующим образом [5,6]:

$$Q_{МГЭС}(t) = \frac{0,102 \cdot N_{МГЭС}(t)}{H_{МГЭС}(t) \cdot \eta_{МГЭС}}; \quad (1)$$

где $\eta_{МГЭС}$ – КПД свободнопоточной микроГЭС:

$$\eta_{МГЭС} = \eta_{р.к.} \cdot \eta_{м} \cdot \eta_{г} \quad (2)$$



Рис.2. Процесс испытания новой конструкции микроГЭС

где $\eta_{р.к.}$ - коэффициент полезного действия рабочего колеса; η_m - коэффициент полезного действия мультипликатора; η_g – коэффициент полезного действия генератора.

Имеются устройства автоматического регулирования для управления и защиты энергоблока, обеспечения возбуждения синхронного генератора и автоматического регулирования вырабатываемого напряжения и частоты, обеспечения защиты от перегрузки, перенапряжений и коротких замыканий [7,8].

Таблица 1

Основные технические параметры микроГЭС

Мощность	10 кВт
Номинальная активная мощность	8,0 кВт
Максимальная вырабатываемая мощность	10,0 кВт
Номинальный ток	13 А
Номинальное выходное напряжение (напряжение фазы / напряжение линии)	220/380 В или 230/400 В
Частота в электросети	50 ± 2 Гц
Максимальный выходной ток	15,2 А (380 В) и 14,5 А (400 В)
Частота вращения, об/мин	1500
Расход воды, м ³ /с	0,095-0,2

Закключение. В настоящее время гидроэнергетика по сравнению с другими источниками энергии экологически безопасна и экономична. Строительство микроГЭС не портит природный ландшафт и окружающую среду, в том числе не влияет на условия жизни животных на суше и водной среде, вода полностью сохраняет своё качество.

Предлагаемая конструкция свободнопоточной микроГЭС с турбиной Банки полностью соответствует условиям малых водотоков Узбекистана. Простота

конструкции и эксплуатации позволяют рекомендовать её внедрение на всей территории страны, особенно в отдаленных и сельских районах

Литература

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 8 апреля 2022 года № УП-101 «Об очередных реформах по созданию условий для стабильного экономического роста путем улучшения предпринимательской среды и развития частного сектора».
2. Гетманов В.Н. Индивидуальная энергоустановка мощностью 1 кВт на основе бесплотинной микроГЭС. Новосибирск, Изд. Президиума СО РАН, 51-54 (2001).
3. Пинегин В.Н. Турбина Банки и ее теоретический коэффициент полезного действия. <http://cuberleninka.ru/article/turbina>.
4. Патент IAP N 03639 «Свободнопоточной микроГЭС»/ Мухаммадиев М. М., Уришев Б.У., и др., // 14.10.2004.
5. Гидроэлектростанции, построенные по проектам АО «Гидропроект». АО «Гидропроект». Проверено 16 января 2018.
6. Концепция развития гидроэнергетической отрасли Республики Узбекистан на долгосрочную перспективу до 2029 года. — АО «Узбекгидроэнерго». 14.XI.2018.
7. Масштабная созидательная работа: вчера и сегодня. Узбекгидроэнерго. Проверено 18 апреля 2018.
8. <http://www.miniges.com>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 556.18(575.1)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕК УЗБЕКИСТАНА В
НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ГИДРОЭНЕРГЕТИКЕ****О.Х. Низамов, Ф.Т. Шадибекова**

Мақолада Ўзбекистон дарёларининг сув ресурсларидан халқ хўжали-гида ва гидроэнергетикада фойдаланиш масалалари муҳокама қилинади. Иқтисодиётнинг сув олиш ва сув ресурсларидан фойдаланиш соҳасидаги энг муҳим тармоқлари сугориладиган деҳқончилик ва гидроэнергетика билан боғлиқ бўлган қишлоқ хўжалигидир. Ўз ҳудудида етарли сув ресурсларига эга бўлмаган республика минтақадаги сувнинг энг катта фоизини истеъмол қилади, шунингдек, минтақанинг трансчегаравий сув ресурсларига жиддий боғлиқ. Бугунги кунда сувдан кафолатланган фойдаланиш учун асосий таҳдид юқори оқимдаги мамлакатлар томонидан трансчегаравий дарёларнинг сув ресурсларини бир томонлама ва мувофиқлаштирилмаган ҳолда бошқаришидир. Сўнги йилларда Ўзбекистон сувдан фойдаланиш масалаларида қўшни давлатлар билан прагматик муносабатлар ўрнатишга муваффақ бўлди ва минтақавий гидроэнергетика балансининг тартибга солувчиси сифатида фаолият юритмоқда.

Калит сўзлар: халқ хўжалиги, сув муаммолари, экология, гидроэнергетика, ирригация, сув танқислиги, микроГЭС.

В статье рассматривается использование водных ресурсов рек Узбекистана в народном хозяйстве и гидроэнергетике. Наиболее значимыми отраслями экономики в сфере водозабора и использования водных ресурсов являются сельское хозяйство, связанное с орошаемым земледелием, и гидроэнергетика. Республика, не имея достаточных водных ресурсов на своей территории, потребляет самый большой процент воды в регионе, и имеет критическую зависимость от трансграничных водных ресурсов региона. Основными угрозами для гарантированного доступа к воде часто является одностороннее и несогласованное управление водными ресурсами трансграничных рек. Узбекистан, в последние годы, сумел наладить прагматичные отношения с сопредельными странами в вопросах водопользования, и участвует в регулировании регионального гидроэнергетического баланса.

Ключевые слова: народное хозяйства, водные проблемы, экология гидроэнергетика, ирригация, дефицит воды, микроГЭС.

The article discusses the use of water resources of the rivers of Uzbekistan in the national economy and in hydropower. The most significant sectors of the economy in the field of water intake and use of water resources are agriculture associated with irrigated agriculture and hydropower. The Republic, not having sufficient water resources on its territory, consumes the largest percentage of water in the region and also has a critical dependence on the transboundary water resources of the region. The main threat today to

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

guaranteed access to water is the unilateral and uncoordinated management of water resources of transboundary rivers by upstream countries. In recent years, Uzbekistan has managed to establish pragmatic relations with neighboring countries in matters of water use and acts as a regulator of the regional hydropower balance.

Key words: *national economy, water problems, ecology, hydropower, irrigation, water shortage, micro hydroelectric power station.*

Введение. Вода для Узбекистана в силу жаркого и засушливого климата играет большую роль и занимает значительное место не только в экономике, но и в жизнеобеспечении населения. В статье рассматривается использование водных ресурсов рек Узбекистана в народном хозяйстве и в гидроэнергетике.

Наиболее значимыми отраслями экономики в сфере водозабора и использования водных ресурсов являются сельское хозяйство, связанное с орошаемым земледелием, и гидроэнергетика. Программы развития этих отраслей нацелены не только на увеличение эффективности использования имеющегося водного потенциала, но и на модернизацию производственных мощностей с целью энерго- и водосбережения. Это вопрос стоит очень остро и в связи с нарастающими экологическими проблемами в регионе и процессом изменения климата на планете.

Особый акцент в гидроэнергетике республики ставится на строительстве новых ГЭС, в первую очередь малых и средних. Это позволит улучшить ситуацию в удалённых и труднодоступных районах страны, и для этой цели была проведена реструктуризация ведомств, занимающихся вопросами гидроэнергетики. Актуальным вопросом водообеспечения сельского хозяйства остаётся модернизация ирригационных и других мелиорационных систем.

Проблема. Республика, не имея достаточных водных ресурсов на своей территории, потребляет самый большой процент воды в регионе, и имеет критическую зависимость от трансграничных водных ресурсов региона. Проблема водных ресурсов связана не только с самой водой, но с энергетическими потребностями и сельским хозяйством [1].

Перед Узбекистаном как страной с малым запасом водных ресурсов и засушливым климатом, с самым большим населением в Центрально-Азиатском регионе стоят задачи по обеспечению нормальной жизнедеятельности своих граждан и сохранению продовольственной безопасности.

В республике значительно усовершенствована законодательная база, регламентирующая водные вопросы: водопользование жителями страны и отдельными отраслями национальной экономики, водосбережение, использование трансграничных и подземных вод.

Отдельный блок законов и подзаконных актов посвящён развитию и модернизации гидроэнергетики, а также ирригационных и мелиоративных систем. И эта работа продолжается.

Правительством Узбекистана разработана концепция комплексного развития Узбекистана до 2030 г. [2]. Как утверждается в документе, в среднесрочной перспективе (2019-2025 гг.) в водной сфере планируется поэтапное внедрение

рыночных механизмов в сфере водопотребления, а также принципов государственно-частного партнерства при эксплуатации объектов водного хозяйства. Это должно обеспечить развитие ирригационных систем Республики Узбекистан за счет строительства и реконструкции каналов, оросительной лотковой сети, гидротехнических сооружений, напорных трубопроводов. Также правительство планирует к 2030 году обеспечить население качественной питьевой водой на 100%.

В декабре 2021 года Президент Республики Узбекистан подписал Постановление «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию гидроэнергетики». Документом предусмотрено увеличить мощности ГЭС в Узбекистане до 2030 года на 66,5%.

Гидроэнергетические ресурсы Узбекистана составляют 50–60 км³ в год, из которых только 12,2 км³ формируются на территории республики, а остальной объем воды поступает извне – с гор Тянь-Шаня и Памиро-Алтая, от тающих снегов и ледников [3].

Основная часть водных ресурсов идет на орошение хлопковых полей. Общая орошаемая площадь в Узбекистане составляет 4,3 млн. га, а сельское хозяйство является самым крупным потребителем водных ресурсов, на долю которого приходится в среднем 90-91% используемой воды.

По прогнозам, население республики к 2030 г. возрастет почти до 40 млн., что вызовет сокращение располагаемых водных ресурсов на 7-8 км³. В этих условиях дефицит водных ресурсов возрастет к 2030 г. с нынешних 13-14% до 44–46%, что затормозит развитие не только сельского хозяйства, но и других отраслей.

По данным Всемирного банка, поток воды в бассейне реки Сырдарья может уменьшиться на 2-5%, а в бассейне реки Амударья – на 10-15%, что усилит дефицит воды. Это нанесет удар не только по сельскому хозяйству, но и по гидроэнергетике, поскольку продуктивность гидроэлектростанций к 2050 году в некоторых частях региона может снизиться до 20 % [4].

Географические особенности республики определяют её особое место в водном балансе, гидроэнергетике и экономике всего региона. К ним можно отнести следующие:

- на территории Узбекистана формируется лишь 9,6 % общего стока бассейна Аральского моря, меньше только в Казахстане (2,1 %) и Туркмении (1,2 %). Речной сток региона формируется в горах Киргизии (25,1 %) и Таджикистана (43,4 %), а используются эти ресурсы во всех странах региона.

Решение проблемы. Проблема Аральского моря касается не только Узбекистана, но и сопредельных стран. Ежегодно в Амударью и Сырдарью сбрасывается 135-145 млн. тонн солей или порядка 17-20 тонн с 1 га орошаемых земель в год.

Основное решение проблемы Аральского моря – создать правовую базу для определения статуса бывшего Аральского моря в Центральной Азии (ЦА), т.е. когда Арал станет субъектом международных отношений.

Внутренние воды республики включают в себя 525 озёр, более 50 водохранилищ, а в бассейнах верховьев рек Сурхандарья, Кашкадарья и Чирчик

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

имеется 525 ледников общей площадью 154,2 кв. км. Однако наиболее важное значение имеют реки, которых в республике насчитывается около 18 тысяч.

В стране много мелких и маловодных рек, потенциал которых не задействован. Как показывает мировой опыт, на таких реках можно строить малые ГЭС. Так, только в Андижанской области уже найдено 32 точки для установки микроГЭС общей мощностью 18,5 МВт, что позволит покрыть 10 % дефицита энергии области [5].

МГЭС можно устанавливать в отдалённых уголках, куда сложно и дорого тянуть линии электропередачи. Это особенно важно для фермерских хозяйств, а также для повышения качества жизни людей в таких районах. Однако строительство и реконструкция малых ГЭС достаточно дорогостоящи, поэтому в Узбекистане этим в основном занимается государство, которое не только само финансирует проекты, но и привлекает для этих целей иностранный капитал (РФ и КНР).

В Узбекистане определены 250 перспективных площадок для строительства микроГЭС. По расчётам, они смогут вырабатывать 675 млн киловатт-часов электроэнергии в год. Рядом с ГЭС планируется строить комбинированные солнечные и ветровые электростанции.

По расчётам, будущие микроГЭС, при выработке 675 миллионов киловатт часов электроэнергии, смогут экономить 200 миллионов кубометров газа в год.

Основными актуальными вопросами государственной политики являются вопросы модернизации существующей гидроэнергетической базы и строительства новых ГЭС, в первую очередь малых и средних, для увеличения выработки электроэнергии. Электроэнергия, вырабатываемая на микроГЭС, имеет выгодные закупочные цены, что должно привлечь предпринимателей к этой сфере.

Центральноазиатский регион по водным вопросам взаимозависим. К сожалению, страны региона не в полной мере эффективно используют водные ресурсы для решения экологических и экономических проблем. Водные проблемы в регионе возникают из-за того, уверены эксперты, что каждая страна делает упор на свои национальные интересы для развития своей экономики.

Основные угрозы сегодня для гарантированного доступа к воде:

- одностороннее и несогласованное управление водными ресурсами трансграничных рек странами верховья;
- коммерциализация воды и отношение к воде как товару в отдельных странах региона, расположенных в верховьях;
- стремление стран верховья к строительству новых крупных водохранилищ ГЭС на основных трансграничных притоках Амударьи и Сырдарьи.

Узбекистан в последние годы сумел наладить прагматичные отношения с сопредельными странами в вопросах водопользования. Президент ведёт активную деятельность в водных вопросах на двустороннем уровне для перехода на иной качественный уровень. Пока планы на совместные проекты строительства ГЭС в Киргизии и Таджикистане остаются декларацией из-за отсутствия необходимого финансирования. Но эффективно идёт работа по восстановлению Единой энергосистемы стран Центральной Азии.

Нормализация отношений при совместном водопользовании не только снижает конфликтный потенциал в регионе, но способствует укреплению позиции Узбекистана как регулятора регионального гидроэнергетического баланса.

Наиболее значимыми отраслями экономики в сфере водозабора и использования водных ресурсов в республике являются сельское хозяйство, связанное в первую очередь с орошаемым земледелием, и гидроэнергетика. Программы развития этих отраслей нацелены не только на увеличение использования имеющегося водного потенциала, но и на модернизацию производственных мощностей с целью энерго-и ресурсосбережения.

Выводы. Только комплексное решение водных проблем даст ощутимые результаты. Узбекистан, как и другие республики региона, взаимозависимы, особенно по водной проблеме: их нужно решать сообща - консультироваться и согласовывать свои действия по решению водных вопросов в центральноазиатском регионе.

Литература

1. Захарова К. Водно-энергетические проблемы в Центральной Азии на современном этапе // Проблемы постсоветского пространства. 2018. 5 (3). - С. 302.
2. Концепция развития водного хозяйства на 2020–2030 гг., <http://www.water.gov.uz/ru/posts/-1545735855/396>, дата обращения 17.10.2020.4/2020.
3. Гусев Л.Ю. Водно-энергетические проблемы Центральной Азии и возможные пути их разрешения // Вестник МГИМО. 2013. 6 (33). - С. 36.
4. Экономическое обозрение. 2019. -№ 10 (238). -С. 21.
5. Kuzmina E., 2018. Impact of Water and Energy Problems on the Economic Development of Uzbekistan. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer. Т. 85. P. 201–214 // http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/698_2017_221.
6. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-4486 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами».
7. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр. 1992 // https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercourses_lakes.shtml, дата обращения 24.10.2020.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311.29

ДЕФИЦИТ ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ
СОТРУДНИЧЕСТВА СТРАН ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

И.Х. Аюбова

Ушбу мақолада Ўзбекистон ва Марказий Осиё олдидан турган асосий муаммолар, жумладан энергия таъминотининг беқарорлиги, долзарб сув масалалари муҳокама қилинади. Ушбу муаммоларни ҳал қилиши учун таклиф этилаётган ечимлар энергия инфратузилмасига, шу жумладан, муқобил энергия манбаларига сармоя киритишдан тортиб, то сув низоларни ҳал қилиши учун халқаро воситачиликгача бўлган жараёнларни ўз ичига олади. Айти пайтда Ўзбекистон ушбу масалаларини ечимини топиши билан банд, бироқ бу қийинчиликларни енгиб ўтиши учун нафақат унинг саъй-ҳаракатлари, балки минтақадаги бошқа мамлакатлар ҳамкорлиги, ҳамда халқаро ҳамжамиятнинг қўллаб-қувватлаши ҳам зарур.

Калит сўзлар: *сув ва энергия ресурслари тақчиллиги, Марказий Осиё, давлатлар ҳамкорлиги, ресурсларни барқарор бошқариши, минтақавий ҳамкорлик, ижтимоий-иқтисодий оқибатлар, ресурслар тақчиллиги сабаблари, узоқ муддатли ечимлар.*

Эта статья обсуждает основные проблемы, стоящие перед Узбекистаном и Центральной Азией, такие как нестабильное энергоснабжение, насущные водные вопросы. Предлагаемые решения этих проблем варьируются от инвестиций в энергетическую инфраструктуру, в том числе в альтернативные источники энергии, до переговоров и международного посредничества для разрешения водных споров. В настоящее время Узбекистан занят реализацией этих решений, но для преодоления данных вызовов требуются не только его усилия, но и кооперация других стран региона, а также поддержка международного сообщества.

Ключевые слова: *дефицит водно-энергетических ресурсов, Центральная Азия, сотрудничество стран, устойчивое управление ресурсами, региональное сотрудничество, социально-экономические последствия, причины дефицита ресурсов, долгосрочные решения.*

This article discusses the main challenges facing Uzbekistan and Central Asia, such as unstable energy supply, pressing water disputes. Proposed solutions to these problems range from investment in energy infrastructure, including alternative energy sources, to peace negotiations and international mediation to resolve water disputes. Uzbekistan is currently engaged in implementing these solutions, but overcoming these challenges requires not only its efforts, but also the co-operation of other countries in the region and the support of the international community.

***Key words:** water and energy resources deficit, Central Asia, cooperation between countries, sustainable resource management, regional cooperation, socio-economic consequences, causes of resource deficit, long-term solutions.*

Введение: На сегодняшний день, когда растет популяция, а ресурсы остаются ограниченными, эффективное управление и использование природных ресурсов становится важнейшей проблемой. В особенности это касается региона Центральной Азии, который сталкивается с серьезными проблемами в водно-энергетическом секторе.

В своем исследовании мы будем обращать внимание на кооперацию и ее роль в обеспечении устойчивого управления водными и энергетическими ресурсами. Особенно, когда речь идет о странах Центральной Азии, где основой экономики является использование водных и энергетических ресурсов, и кризис в этих областях может привести к серьезным социально-экономическим и политическим последствиям.

Основной целью этой статьи является обсуждение проблемы дефицита водно-энергетических ресурсов в Центральной Азии, выявление основных причин этой проблемы и предложение возможных решений через углубленное региональное сотрудничество.

Основная часть: Водно-энергетические ресурсы являются ключевыми факторами для поддержания жизни, экономического роста и социального развития во всем мире. Они играют жизненно важную роль во многих отраслях, включая сельское хозяйство, промышленность, транспорт, электроэнергетику и бытовые нужды [1].

Вода является жизненно важным ресурсом, включающим использование для питья, сельского хозяйства, промышленности, и санитарии. Она также используется в качестве источника для производства энергии, на гидроэлектростанциях.

Энергия, с другой стороны, движет мировую экономику и является неотъемлемой частью повседневной жизни. Однако она также требует больших объемов воды для своего производства и пользования, особенно в гидроэнергетическом секторе и атомной энергетике. Энергия имеет большое значение для развития инфраструктуры и поддержания экономической стабильности.

Комплексное и эффективное управление водно-энергетическими ресурсами становится все более важным, поскольку все больше стран сталкиваются с ограничениями в доступе к этим важнейшим ресурсам. Это особенно актуально для региона Центральной Азии, где развитие экономики тесно связано с использованием этих ресурсов и дефицит воды может привести к серьезным последствиям.

Центральная Азия включает в себя пять стран: Казахстан, Узбекистан, Туркменистан, Таджикистан и Кыргызстан. Эти страны тесно связаны между собой природными водоёмами и водно-энергетическими ресурсами [3].

Казахстан, как большая часть Центральной Азии, столкнулся с проблемами недостатка воды. Однако в отличие от других стран региона, Казахстану удалось

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

диверсифицировать свои энергетические источники, активно развивая производство нефти и газа и инвестируя в альтернативные источники энергии.

Туркменистан, богатый газовыми месторождениями, в значительной степени зависит от экспорта энергоносителей, и при этом испытывает дефицит в водных ресурсах. Как и Узбекистан, Туркменистан столкнулся с проблемами из-за расположения в аридной зоне и необходимости обеспечивать сельское хозяйство водой.

Таджикистан и Кыргызстан – горные страны Центральной Азии – обладают значительными запасами водно-энергетических ресурсов благодаря своим горным речным бассейнам. Они активно развивают свой гидроэнергетический потенциал и экспортируют электроэнергию в другие страны Центральной Азии.

Однако, рациональное и справедливое распределение водных ресурсов между странами региона остается сложной задачей, требующей координированных действий и общих усилий. Большой частью вопрос водно-энергетических ресурсов в Центральной Азии связан с трансграничными водами и связанными с этим сложными вопросами межгосударственного сотрудничества.

Республика Узбекистан является страной с зависимостью от водных ресурсов Центральной Азии, поскольку основные реки региона - Амударья и Сырдарья, проходят через ее территорию. Вода этих рек важна для многих секторов экономики страны, включая сельское хозяйство, промышленность и население.

Как страна, находящаяся в основном в условиях пустынь и полупустынь, Узбекистан столкнулся с обострением проблем водного дефицита. Этот дефицит может привести к серьезным социальным и экономическим проблемам, включая недостаток воды для полива, недостаток питьевой воды и энергии, а также снижение урожайности и продуктивности сельского хозяйства.

Узбекистан, в качестве одной из ведущих стран в Центральной Азии по производству природного газа, также активно развивает альтернативные источники энергии, такие как солнечные и ветровые. Однако гидроэнергетический потенциал страны все еще большей частью не реализован из-за ограниченного доступа к водным ресурсам и трансграничного характера водных ресурсов Центральной Азии [2].

Таким образом, Узбекистан активно участвует в региональном сотрудничестве по вопросам рационального использования и охраны водных ресурсов. Проблема водных и энергетических ресурсов в Узбекистане представляет собой важную тему для научного исследования и обсуждения на региональном и международном уровне.

В Центральной Азии различные водно-энергетические проблемы связаны с ограниченностью и нестабильностью доступа к водным и энергетическим ресурсам. Это ведет к ряду конкретных вызовов:

1. Отсутствие совместного управления водными ресурсами: основные реки Амударья и Сырдарья являются трансграничными, что влечет за собой необходимость совместного управления и использования этих ресурсов. Однако, проблемы появляются из-за разных интересов и приоритетов стран в области распределения и использования воды.

2. Неэффективное использование воды: Центральная Азия - один из регионов с наибольшим потреблением воды на душу населения, особенно в сельском хозяйстве. Это связано с применением устаревших технологий и недостатком внедрения рациональных способов водопотребления.

3. Нестабильное энергоснабжение: В зимний период года страны, в которых развита гидроэнергетика (Таджикистан, Кыргызстан), сталкиваются с дефицитом электроэнергии из-за недостатка воды в резервуарах.

4. Экологические проблемы: Интенсивное водопользование ведет к ухудшению состояния водных ресурсов и снижению биоразнообразия. Например, известна проблема иссушения Аральского моря из-за интенсивного использования воды питающих его рек,

5. Социально-экономические проблемы: Недостаток доступа к чистой питьевой воде и к стабильному энергоснабжению может стать причиной конфликтов, миграции населения и ухудшения условий жизни местного населения.

Все эти проблемы требуют совместных усилий стран региона, национальных и международных организаций.

Проблема совместного управления водными ресурсами в Центральной Азии может быть решена через комплексное сотрудничество стран региона [5].

Подписание соглашений: странам Центральной Азии необходимо разработать и подписать общий региональный договор о совместном водопользовании и защите водных ресурсов. Этот договор должен определять принципы справедливого и рационального использования водных ресурсов, заложив при этом принципы взаимного уважения и сотрудничества.

Совместные проекты: вместе со средним и малым масштабным национальными проектами, важно реализовывать совместные большие региональные проекты по водопользованию, которые были бы выгодны всем странам региона. Это может включать строительство новых резервуаров, перераспределение водных потоков и модернизацию ирригационных систем.

Научные исследования: необходимо провести совместные научные исследования на темы управления водными ресурсами, климатическими изменениями и адаптации к ним. Это поможет проинформировать и подкрепить диалог в регионе и сделать его более объективным и продуктивным.

Укрепление региональных институтов: укрепление роли уже существующих (как например, Международной фонды по защите Арала) и создание новых региональных институтов по вопросам водопользования будет способствовать формированию общеазиатской системы управления водными ресурсами.

Международная поддержка: важно привлечь поддержку международной общественности в решении этой проблемы. Это может быть реализовано через финансирование проектов, предоставление технической помощи и обмен опытом с другими регионами мира, где также существуют проблемы управления трансграничными водными ресурсами.

Проблема неэффективного использования воды в Центральной Азии также требует комплексного подхода и совместных усилий.

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Обновление и модернизация инфраструктуры: старая и нерациональная система водоснабжения, особенно в сельском хозяйстве, приводит к большим потерям воды. Чтобы минимизировать эти потери, необходимо инвестировать в обновление и модернизацию системы водоснабжения, включая ирригационные системы.

Повышение эффективности использования воды: этого можно достичь путем внедрения технологий бережного обращения с водой, а также путем обучения и осведомленности населения и сельскохозяйственных работников о технологиях экономного использования водных ресурсов.

Внедрение системы мониторинга и контроля: для обеспечения эффективного использования воды необходимо внедрить системы мониторинга и контроля использования водных ресурсов. Это позволит лучше планировать водопотребление и предотвратить его нерациональное использование.

Юридическая регуляция: правительствам стран Центральной Азии необходимо разработать и принять законы и правила, которые регулируют использование и охрану водных ресурсов, обеспечивают штрафы и наказания для тех, кто нарушает эти правила.

Разработка методов устойчивого водопользования: методы должны быть ориентированы на устойчивое использование водных ресурсов, учитывая текущие и будущие нужды с учетом изменения климата и роста населения.

Привлечение международного сотрудничества: международные организации и доноры могут поддержать реализацию этих мер, предоставив техническую помощь и финансирование для внедрения современных технологий и обновления инфраструктуры [2].

Исправление ситуации с нестабильностью энергоснабжения в Центральной Азии требует решения технических вопросов. Несколько возможных шагов, которые можно предпринять в этом направлении:

Расширение инфраструктуры гидроэнергетики: учитывая климатические условия региона, гидроэнергия может стать ключевым источником энергии. Требуется инвестиции в продление жизни старых и строительство новых ГЭС.

Увеличение энергоэффективности: повышение энергетической эффективности поможет снизить общий спрос на энергию и сократить энергетическую нагрузку на гидроэлектростанции. Это может включать модернизацию ирригационных систем, улучшение энергоэффективности зданий и предприятий, внедрение энергоэффективных технологий.

Развитие альтернативных источников энергии: Центральная Азия обладает значительным потенциалом для использования ветра и солнца как источников энергии. Внедрение альтернативных источников энергии может снизить зависимость от гидроэлектростанций и повысить уровень энергетической безопасности в регионе.

Региональное сотрудничество и интеграция энергетических систем: Страны Центральной Азии должны работать совместно, чтобы воссоздать единую энергосистему, что позволит обмениваться излишками и дефицитами энергии в

зависимости от сезона года. Такое сотрудничество и интеграция может также способствовать решению трансграничных водно-энергетических проблем.

Привлечение инвестиций: требуются заметные внешние и внутренние инвестиции для модернизации и развития энергетической инфраструктуры. Международные финансовые организации могут играть ключевую роль в предоставлении поддержки и финансирования таких проектов [2].

Республика Узбекистан уже предпринимает усилия для решения энергетических проблем и для увеличения своей энергетической безопасности. Вот некоторые действия, которые страна могла бы предпринять или усилить:

1. Увеличение инвестиций в гидроэнергетику: Узбекистан может продолжить свою работу по модернизации уже существующих гидроэлектростанций и строительству новых для увеличения своего производства гидроэнергии.

2. Улучшение энергоэффективности: Узбекистан может продолжать реализовывать проекты, направленные на увеличение энергоэффективности, такие как модернизация зданий, внедрение энергоэффективных технологий и улучшение ирригационных систем.

3. Обзор возможности использования альтернативных источников энергии: Узбекистан может продолжить исследования и развитие проектов, связанных с использованием солнечной и ветровой энергии.

4. Укрепление регионального сотрудничества: Узбекистан может работать над укреплением отношений с соседними странами и работать для разработки совместных решений по обеспечению энергоснабжения.

5. Привлечение инвестиций: Узбекистан может работать над привлечением иностранных инвестиций для модернизации и обновления своей энергетической инфраструктуры.

Кроме того, Узбекистан может работать над решением социально-экономических проблем, таких как бедность и нестабильность доходов с помощью экономических реформ, усиления работы по привлечению инвестиций, создания новых рабочих мест и создания программ социальной поддержки.

Заключение: В этой статье мы рассмотрели основные вызовы, которые стоят перед Узбекистаном и Центральной Азией в целом, включая нестабильность энергоснабжения, водные споры. Для решения этих проблем странам региона требуется комплексный подход.

Вопросы энергоснабжения могут быть решены через инвестиции в инфраструктуру, использование альтернативных источников энергии и увеличение энергоэффективности. Водные споры могут быть успешно разрешены через переговоры, международное посредничество и правовое разрешение споров.

Важным моментом является также развитие системы образования и профессиональной подготовки.

Узбекистан предпринимает шаги в направлении решения этих проблем. Однако для достижения стабильности и процветания этому региону необходимы дальнейшие усилия, совместная работа стран региона и поддержка международного сообщества.

Литература

1. Ahmedov, Z. (2018) "Energy security in Central Asia: Problematics and Policy Implications". Energy Policy, Vol. 123, pp. 425-436.
2. Blank, S. (2014) "Territorial Disputes in Central Asia". Central Asia-Caucasus Analyst.
3. Rahmonov, M. (2017) "Poverty Alleviation through Institutional Reforms in Central Asia". Central Asia Economic Papers No. 22.
4. Sanderson, H. (2019) "Economic Growth Rates and Challenges in Central Asia". Asian Development Review, Vol. 36, No. 1, pp. 150-169.
5. Yakubov, N. (2020) "The Role of Education in economic growth in Uzbekistan". Regional Science Inquiry, Vol. 12, No. 2, pp. 123-139.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.65

**ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ГАЭС НА БАЗЕ КАСКАДА
УРТА-ЧИРЧИКСКИХ ГЭС****К.С. Джураев, Абдуазиз уулу Абдурауф, Э.Д. Исмаилов, А.Ш. Сайфутдинов**

Мақолада гидроаккумуляцион электр станцияларни (ГАЭС) яратиш борасида гап боради. ГАЭС энергияни аккумуляциялаш ва ишлаб чиқаришида энг самарадор вариант ҳисобланади, жумладан Ўзбекистон шароитида. Тадқиқотлар давомида Бўстонлиқ туманида, Булоқсу-Хожикент ГАЭС, Қизилсу-Хожикент ГЭС, Чорвоқ ГЭС-ГАЭС ва Пскем ГАЭСни қуриш мумкинлиги аниқланилди ва улар учун сарфланадиган барча маблағларни ўз вақтида оқлашини кўрсатди. Бўстонлиқ туманида ГАЭС қурилиши учун зарур инфратузилма мавжудлиги қайд этилган бўлиб, у энергетикани тегишли ривожлантириши учун ишлатилиши мумкин. ГАЭСнинг иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш методологияси ва дастури ишлаб чиқилган бўлиб, Ўрта-Чирчиқ ГЭС каскади асосида ГАЭСни яратишининг ҳар бир варианты учун техник-иқтисодий кўрсаткичлар аниқланган, яъни капитал сарфлар, турбина ва насос режимларида ишлаб чиқарилган ва истеъмол қилинган электр энергияси, йиллик тежаладиган ёқилги ресурслари, йиллик иқтисодий самарадорлик, капитал сарфларни оқлаш даври, капитал сарфларни рентабеллик коэффициенти ва ҳ.о.

***Калит сўзлар:** гидроаккумуляцион электр станция, Ўрта-Чирчиқ каскади, юқори сув ҳавзаси, қуйи сув ҳавзаси, гидроэнергетика, электр энергияси, ўрнатилган қувват.*

В статье речь идет о создании гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС). ГАЭС является наиболее эффективным вариантом аккумулярования и выработки электроэнергии, в том числе для условий Узбекистана. Рассмотрена возможность строить гидроаккумулирующие электростанции в Бостанлыкском районе: Булаксу-Ходжикентскую ГАЭС, Кизилсуй-Ходжикентскую ГАЭС, Чарвакскую ГЭС-ГАЭС, Пскемскую ГАЭС; показано, что они покроют все затраты в приемлемые сроки. Отмечено, что для строительства ГАЭС в Бостанлыкском районе имеется необходимая инфраструктура, которая может быть использована для соответствующего развития энергетики. Разработаны методика и программа определения экономических показателей ГАЭС, а для каждого рассматриваемого варианта ГАЭС на базе Каскада Урта-Чирчицких ГЭС определены технико-экономические показатели: капитальные вложения, произведенная и потребленная электроэнергия в турбинном и насосном режимах, годовая экономия топливных ресурсов, годовая экономическая эффективность, срок окупаемости капитальных вложений, коэффициент рентабельности капитальных вложений и др.

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Ключевые слова: гидроаккумулирующая электростанция, Урта-Чирчикский каскад, верхний бассейн, нижний бассейн, гидроэнергетика, электроэнергия, установленная мощность.

The article talks about the creation of a pumped storage power plant (PSPP). PSPP is the most effective option for storing and generating electricity, including for the conditions of Uzbekistan. The possibility of building pumped storage power plants in the Bostanlyk district has been considered: Bulaksu-Khodzhikent PSPP, Kizilsuy-Khodzhikent PSPP, Charvak HPP-PSP, Pskem PSPP; it is shown that they will cover all costs within an acceptable time frame. It was noted that for the construction of a pumped storage power plant in the Bostanlyk region there is the necessary infrastructure that can be used for appropriate energy development. A methodology and program for determining the economic indicators of pumped storage power plants have been developed, and for each considered option of pumped storage power plants based on the Urta-Chirchik HPP Cascade, technical and economic indicators have been determined: capital investments, produced and consumed electricity in turbine and pumping modes, annual savings of fuel resources, annual economic efficiency, payback period of capital investments, rate of return on capital investments, etc.

Keywords: pumped storage power plant, Urta-Chirchik cascade, the upper basin, the lower basin, hydropower, electricity, the installed capacity.

Введение. Энергосистема Узбекистана является крупнейшей в Центральной Азии. В настоящее время общая установленная мощность электростанций составляет более 16000 МВт. Порядка 85% выработки электроэнергии приходится на тепловые электростанции, работающих в основном на природном газе, остальное на ГЭС. По данным Госкомстата Узбекистана, в 2022 году электростанциями Узбекистана было выработано более 74 млрд. кВт.час электроэнергии, что на 3% больше по сравнению с предыдущим годом. Максимальная нагрузка в часы пикового потребления электрической энергии в зимний период составила более 12 тыс. МВт, а разница между минимальной и максимальной нагрузкой составила более 3 тыс. МВт.

Узбекистану, для выработки пиковой мощности, обеспечения показателей качества выдаваемой электроэнергии и сохранения энергетической независимости, необходимо создание собственных высокоэффективных источников регулирования мощности [1].

В настоящее время суточное регулирование в энергосистеме осуществляется за счет трех станций Урта-Чирчикского Каскада (Чарвакской, Ходжикентской и Газалкентской ГЭС) в диапазоне их суммарной установленной мощности 905 МВт; а также за счет изменения мощности блоков тепловых станций от максимальной величины до технологического минимума, пуска-остановов блоков мощностью 150 - 300 МВт [1].

Состояние водных ресурсов в стране влияет на развитие гидроэнергетики. Она является важнейшей сферой экономики, влияющей как на жизнеобеспечение населения и сельское хозяйство республики, так и на развитие промышленности.

Более 80% электроэнергетического комплекса страны работает на газе, тогда как гидроэнергетика занимает чуть более 15%. Потенциал гидроэнергоресурсов Узбекистана оценивается в 27,5 млрд кВт.ч в год, но страна использует лишь около 30 % возможностей. В стране работает 37 ГЭС, которые обеспечивают около 10 % выработки электроэнергии. Гидроэлектростанции общей мощностью 1854 МВт генерируют около 6,5 млрд кВт.ч электроэнергии, в зависимости от водности года [1]. Власти республики активно работают над развитием и модернизацией гидроэнергетики республики. Это позволит, согласно государственной программе развития гидроэнергетики, увеличить её долю в энергобалансе страны с 12,7 до 15,8 % к 2030 году [1].

Использование для покрытия пиков графика нагрузки энергосистемы оборудования тепловых электростанций, предназначенного для работы в равномерной, базовой части графика, ведет к пережогу топлива, снижению сроков и надежности работы оборудования. Поэтому Узбекская энергосистема все больше нуждается в резервировании генерирующей мощности; ее необходимо пополнить высокоманевренными ГЭС и ГАЭС, способными работать в остропиковых зонах суточного графика нагрузки [1,2,3].

Методы и материалы. Все большее значение придается развитию ещё одного направления гидроэнергетики в Республике Узбекистан - это *строительство гидроаккумулирующих электростанций*.

Для уменьшения капиталовложений при строительстве ГАЭС можно экономить на возведении водохранилищ. Один из вариантов – это строительство только одного водохранилища, а вместо второго использовать крупную реку или канал [2,3]. Ещё один экономичный вариант – это использование уже имеющихся водохранилищ.

Главным вопросом при освоении водных ресурсов всегда было удовлетворение потребностей водного хозяйства и питьевого водоснабжения. В условиях Узбекистана дефицит водных ресурсов диктует несколько иные условия, вызванные ростом водопотребления на фоне увеличения численности населения и требований охраны окружающей среды. Поэтому на нынешнем этапе развития гидроэнергетики освоение гидроэнергетических ресурсов необходимо осуществлять на внутренних водотоках сезонного действия, в системах водохранилищ, на гидротехнических сооружениях без ущерба интересам ирригации и водоснабжения. Это, как показывают расчёты, намного уменьшает капвложения на освоение гидроэнергетических ресурсов и даёт возможность более полно использовать потенциал накопленного объёма воды [2,3].

По мере роста неравномерности суточного графика нагрузки, развития оптового рынка мощности и электроэнергии, внедрения дифференцированных тарифов электроэнергию, появляется экономическая основа для покупки более дешёвой ночной электроэнергии и аккумуляирования ее на ГАЭС для использования в периоды прохождения пиков суточного графика нагрузки [3,4].

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

ГАЭС целесообразно размещать там, где есть сосредоточенный перепад высот местности, возможность создания резервуаров в верхнем и нижнем бьефах, относительно недалекое размещение водного источника и близость крупной ГЭС [4].

Одним из главных критериев является максимальное приближение гидроустановки к центру нагрузок, а именно к Ташкентскому региону.

Рассмотрены варианты создания ГАЭС в Бостанлыкском районе Ташкентской области на базе Каскада Урта-Чирчикских ГЭС, осуществляющего регулирование стока реки Чирчик с головным Чарвакским водохранилищем (рис.1).

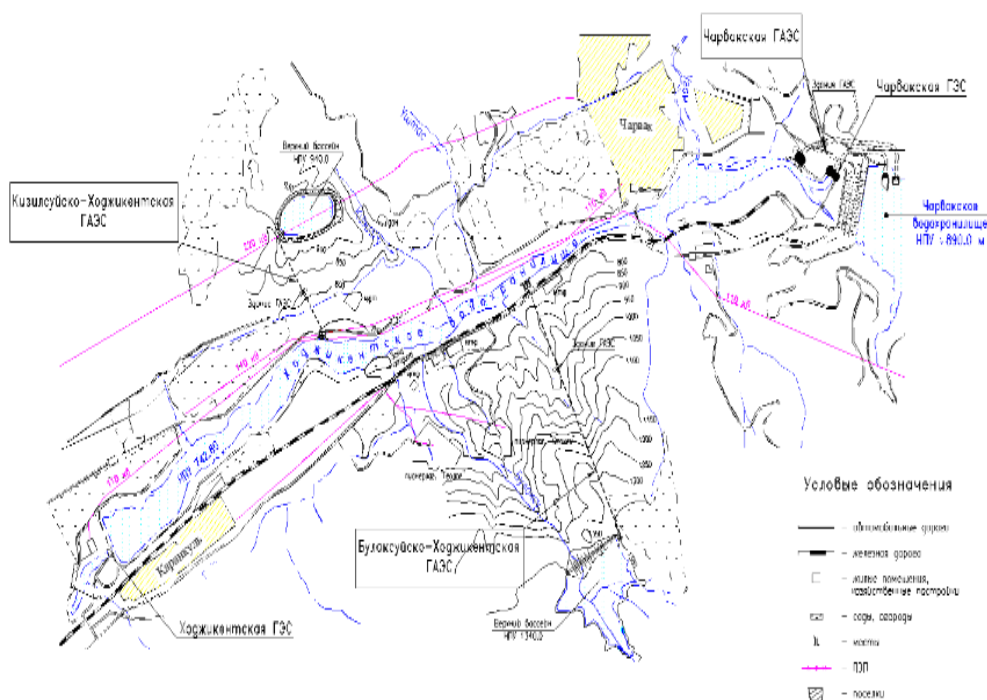


Рис.1. Схема ГАЭС в Бостанлыкском районе

На базе Каскада Урта-Чирчикских ГЭС можно рассматривать следующие варианты ГАЭС.

Вариант 1. Булаксууско-Ходжикентская ГАЭС. Верхний бассейн располагается на левом берегу Ходжикентского водохранилища в ручье Булаксу. Бассейн емкостью 6,0 млн.м³ создается насыпной плотиной высотой 43 м, перегораживающей сай (рис. 2) [5].

Нижним бассейном является Ходжикентское водохранилище полезным объемом 9,0 млн.м³. Протяженность водоводов – 2 км.

Высота закачки составит 586 м. Расчетные расходы ГАЭС в режиме закачки – 96 м³/с, в режиме сработки 120 м³/с.

Установленная мощность ГАЭС - до 600 МВт.

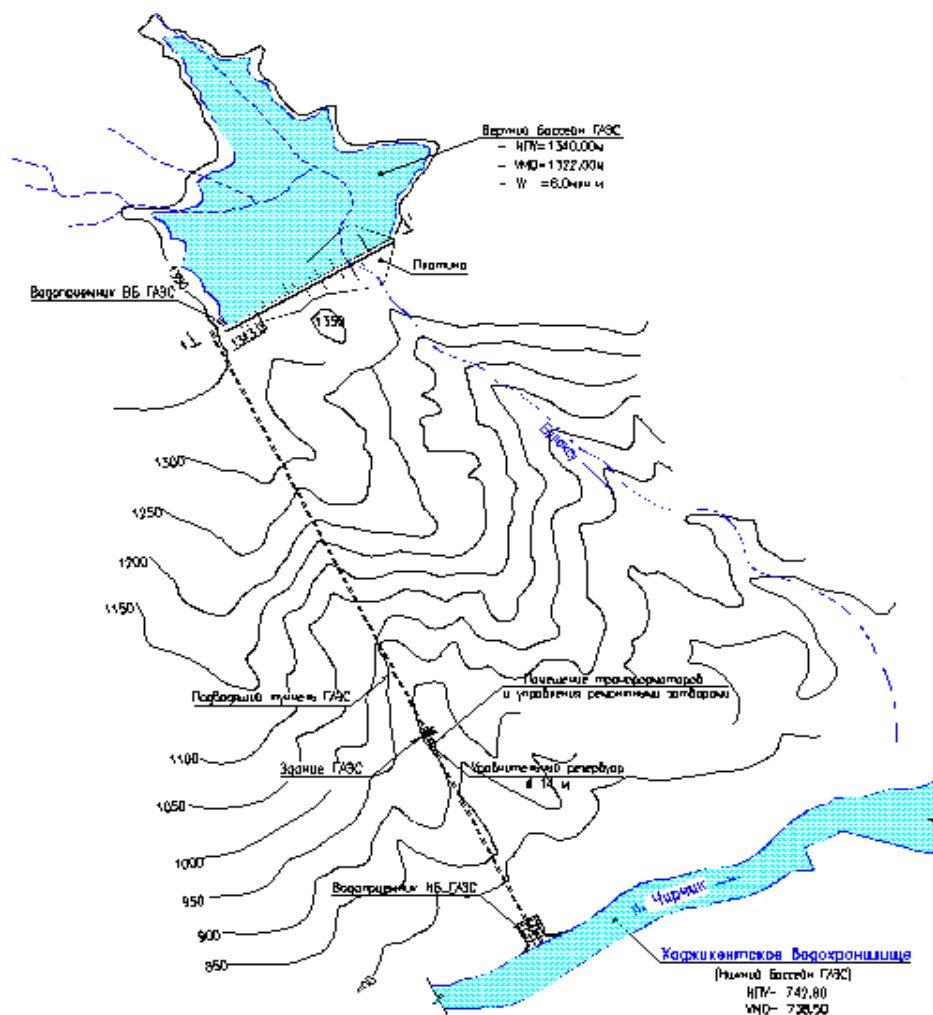


Рис.2. Схема Булаксурейско-Ходжикентской ГАЭС

Вариант 2. Кизилсурейско-Ходжикентская ГАЭС. Верхний бассейн располагается на правом берегу Ходжикентского водохранилища в районе сая Кизилсу. Искусственная емкость 2,9 млн. м³ создается в полувыемке-полунасыпи на горизонтальном участке рельефа (рис.3).

Нижним бассейном будет полезная емкость Ходжикентского водохранилища [6]. Протяженность подводящего тракта - 630 м, отводящего – 400м. Высота закачки около 200 м. Расчетные расходы ГАЭС в режиме закачки – 104 м³/с, в режиме сработки 130 м³/с.

Установленная мощность ГАЭС порядка 200 МВт.

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

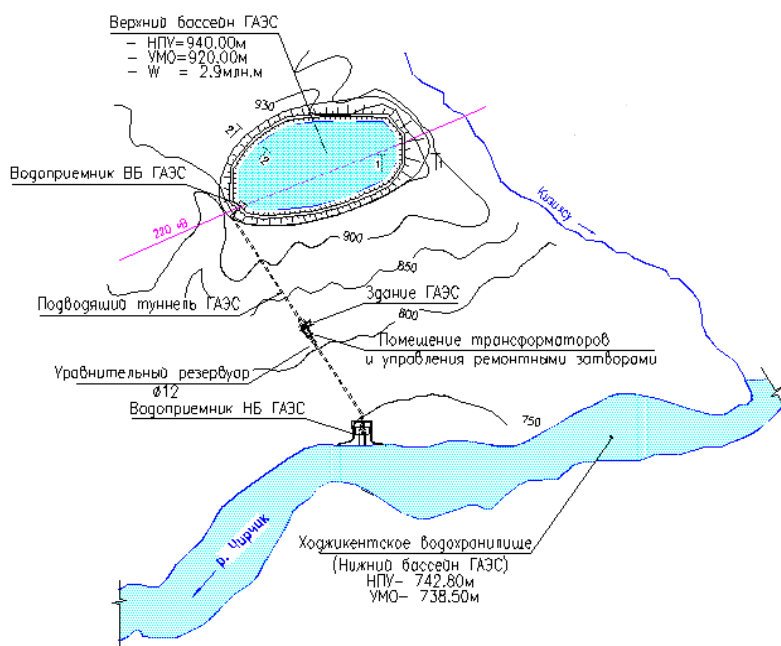


Рис. 3. Схема Кизлуйско-Ходжикентской ГАЭС

Вариант 3. Чарвакская ГЭС-ГАЭС (Чарвакско-Ходжикентская ГАЭС). Создание Чарвакской ГАЭС основывается на использовании сомкнутых бьефов водохранилищ Чарвакской и Ходжикентской ГЭС. Полезная емкость водохранилища Ходжикентской ГЭС – 9,0 млн. м³ используется в качестве нижнего бассейна, что позволяет Чарвакской ГАЭС работать установленной мощностью 400 МВт в 4-х часовой зоне пика графика нагрузки. Функции по регулированию суточных попусков Чарвакской ГЭС будут перенесены от Ходжикентского водохранилища на водохранилище Газалкентской ГЭС (рис. 4).

Верхним бассейном ГАЭС будет Чарвакское водохранилище полезным объемом 1580 млн. м³. Суточная глубина сработки водохранилища при НПУ=890,0 м составит 22 см, при УМО=835,0 - 54 см. Высота закачки составит в среднем 118,0 м. Расчетные расходы ГАЭС в режиме закачки – 360 м³/с, в режиме сработки 450 м³/с.

При диапазоне ежегодных колебаний Чарвакского водохранилища в 55 м от отметки НПУ=890,0 м до УМО=835,0 м строительство водоприёмника ГАЭС и подбор обратимых агрегатов будут чрезвычайно затруднены [7].

По условиям насосного режима ось обратной турбины должна быть заглублена под минимальный уровень нижнего бьефа на 18,5 м (отметка оси около 720,0 м), что определяет подземное решение здания станции и комплекс туннельных водоводов протяженностью 1600 м с расположением их на правом берегу, на достаточно безопасном удалении от действующих сооружений станции для ведения проходческих буровзрывных работ.

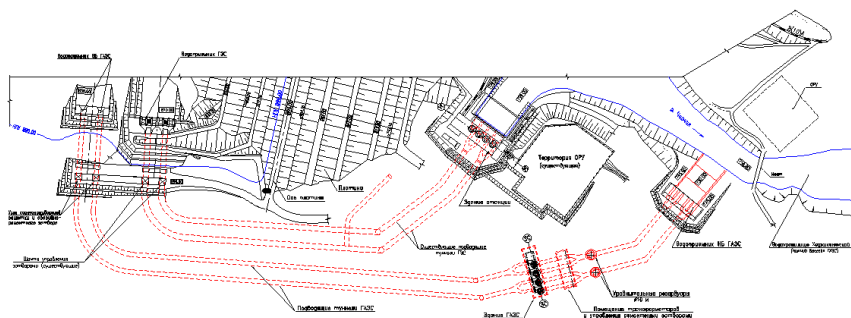


Рис.4. Схема Чарвакской ГАЭС

Вариант 4. Пскемская ГАЭС. В Пскемском створе, при условии создания нижнего бассейна с емкостью суточного регулирования порядка 10 млн.м³ в виде водохранилища Муллалакской ГЭС, возможно строительство ГАЭС установленной мощностью 400 МВт при расчетном напоре до 180 м (рис. 5).

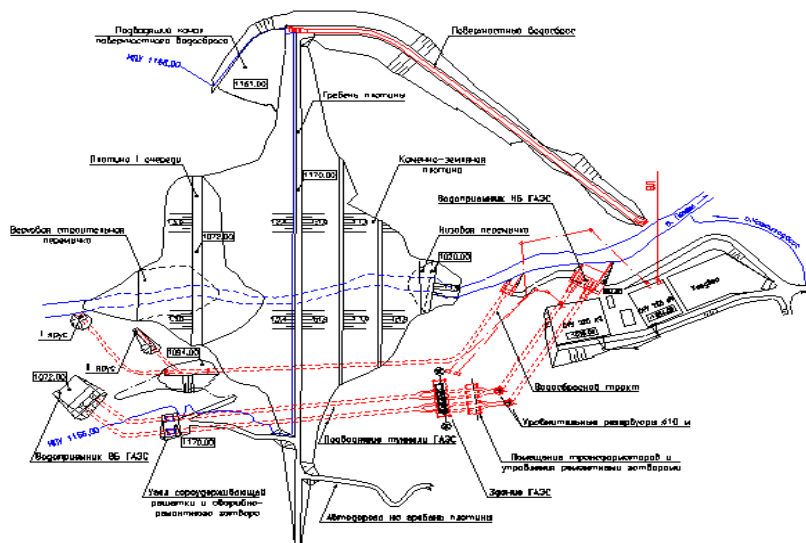


Рис. 5. Схема Пскемской ГАЭС

Полезный объем Пскемского водохранилища 486,5 млн.м³ при проектировании гидроэлектростанции (ГЭС) предназначался для сезонного регулирования водного стока, дополнительно к Чарвакскому водохранилищу с целью удовлетворения растущих требований водохозяйственного комплекса региона [8].

Сработка водохранилища на 114 м (от отметки НПУ=1166,0 м до уровня энергетической сработки УЭС=1052,0 м) не вполне благоприятна для работы гидротурбинного оборудования ГАЭС. Ориентировочно расчетный расход ГАЭС в насосном режиме будет 200 м³/с, в турбинном режиме 250 м³/с. Сооружения

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

напорно-станционный узла ГАЭС могут быть размещены на правом берегу реки, включая две нитки подводящих туннелей длиной 1700 м с уравнительными шахтами и подземным зданием станции.

Результат. Разработана методика и программа определения экономических показателей ГАЭС и для каждого рассматриваемого варианта создания ГАЭС на базе Каскада Урта-Чирчикских ГЭС определены технико-экономические параметры, т.е. капиталовложения, вырабатываемая и потребляемая электроэнергия в турбинном и насосном режиме, годовая экономия топливных ресурсов, годовая издержка, годовая экономическая эффективность, срок окупаемости капвложений, коэффициент рентабельности капвложений и т.д. (табл. 1) [5, 9, 10, 11, 12].

Таблица 1
Технико-экономические параметры ГАЭС на Каскаде Урта-Чирчикских ГЭС

№	Наименование показателей	Единица измерения	Величина			
			Чарвакская ГЭС-ГАЭС	Булаксайско-Ходжикентская ГЭС	Кизилсайско-Ходжикентская ГЭС	Покемская ГЭС
1	Напор в турбинном режиме (ТР)	м	105	578	180	186
2	Напор в насосном режиме (НР)	м	118	593	194	205
3	К.п.д. ГАЭС	%	73,44	73,28	73,56	73,41
4	Число агрегатов	шт.	4	2	2	4
5	Расход ГАЭС в ТР	м ³ /сек	450	120	130	250
6	Расход ГАЭС в НР	м ³ /сек	360	96	104	200
7	Используемые объемы в ГАЭС	млн.м ³	8,99	2,90	2,90	5,40
8	Мощность ГАЭС в ТР	кВт	400 020	599 996	199 991	400 057
9	Мощность ГАЭС в НР	кВт	489 693	672 038	233 129	480 538
10	Капиталовложения в ГАЭС	млрд. сум	5309,1	8442,0	2839,1	6065,7
11	Годовая выработка ЭЭ в ТР	млн. кВт·час	810,4	1469,5	452,6	876,2
12	Годовая потребление ЭЭ в НР	млн. кВт·час	1240,0	2057,4	659,5	1315,5
13	Стоимость вырабатываемой ЭЭ ГАЭС в пиковый период	млрд. сум	283,62	514,32	158,41	306,64
14	Стоимость потребляемой ЭЭ ГАЭС в НР	млрд. сум	217,0	360,0	115,41	230,21
15	Годовая экономия топливных ресурсов	тыс. т.у.т.	121,55	220,42	67,90	131,42
16	Годовая издержка ГАЭС	млрд. сум	360,24	572,81	192,65	411,58
17	Выгоды от создания ГАЭС	млрд. сум	985,1	1468,28	564,51	1084,18
18	Экономическая эффективность за год	млрд. сум	1107,21	1516,0	660,17	1182,1
19	Срок окупаемости капвложений	лет	5,389	5,750	5,029	5,595
20	Рентабельность капвложений	%	0,186	0,174	0,199	0,179

Обсуждение. Показанные энергетические показатели ГАЭС в табл. 1 являются предварительными. Мощности проектируемых ГАЭС будут зависеть от возможности создания достаточных ёмкостей верхнего и нижнего бассейнов, а режимы закачки и сработки определяются результатами оптимизационных технико-экономических расчетов по требованиям энергосистемы с учетом долгосрочной стратегии ее развития.

Заключение. Изучены потенциальные и технические возможности создания ГАЭС на Каскаде Урта-Чирчикских ГЭС позволяет:

1. Получить суммарную пиковую мощность около 1 600 МВт и дополнительно выработать более 3 600,0 млн. кВт.час/год электроэнергии.
2. Сэкономить около 540,0 тыс. т.у.т./год.
3. Годовая экономическая эффективность будет составлять более 4 400 млрд. сум.

Литература

1. Концепция обеспечения Узбекистана электрической энергией на 2020–2030 годы.
2. Министерство энергетики: цели, задачи, планы и достижения. <https://minenergy.uz/ru/lists/view/10>.
3. Mukhammadiev M.M., Dzhuraev K.S. Justification of the energy and economic parameters of pumped storage power plants in Uzbekistan. *Applied Solar Energy*, 56(3), New York, 2020. – pp. 227-232.
4. Аллаев К.Р. Перспективы развития энергобаланса мира и Узбекистана. *Проблемы энерго - и ресурсосбережения*, 2018, № 3-4. - С.13-19.
5. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М., Претро Г.А. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование: Учебное пособие – СПб: СПбГТУ, 1995. – 102 с.
6. Мухаммадиев М.М., А.А. Сангинов., Б.У. Уришев. Использование и аккумулирование гидравлической энергии в энергосистеме Республики Узбекистан. Монография. – Т.: «Инновацион ривожланиш нашриёт матбаа уйи» 2021. - 238 с.
7. Muradilla Mukhammadiev., Kurbon Dzhuraev., Sanjar Juraev and others. Methodology for substantiation of technical and economic indicators of PSPP in energy water management systems of Uzbekistan. *E3S Web of Conferences* 264, Mechanization, Electrification of Agriculture and Renewable Energy Sources 04056 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404056>. pp. 1-14.
8. М.М. Мухаммадиев., К.С. Джураев., Н.Э. Каримова. Технико-экономическая эффективность гидроаккумулирующих электростанций в Узбекистане // *Проблемы энерго – и ресурсосбережения*, 2021, № 4. - С. 334-339.
9. М.М. Мухаммадиев, И.Г. Кудряшева., С.З.Гафуров, Ш.Т.Амиров. Использование ГАЭС в каскаде Урта – Чирчикских ГЭС. // *Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской кофрэнции. Сборник научных трудов, 1-част, Санк-Петербург, 4-10 апреля 2022 г. - С. 219-222.*

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

10. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М., Претро Г.А. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование: Учебное пособие – СПб: СПбГТУ, 1995. – 102 с.

11. Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС // Серебряников Н.И., Родионов В.Г., Кулешов А.П., Магрук В.И., Иванущенко В.С. – Москва.: Изд.во НЦ ЭНАС, 2000. - 368 с.

12. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С. Обоснование энерго-экономических параметров гидроаккумулирующих электростанций в условиях Узбекистана. // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2020, -№1. – С. 82-91.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 662:620.001.76(575.1)

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Г.Ж. Аллаева

Мақолада Ўзбекистон Республикаси ёқилғи-энергетика комплекси корхоналарини барқарор ривожлантириши методологиясининг асосий эконометрик омиллари таклиф этилган. Таклиф этилаётган эконометрик омилларнинг корреляцион ва регрессия таҳлили ўтказилди. Таҳлил натижаларига кўра миллий иқтисодиётнинг энергетика сектори тармоқларини самарали ва хавфсиз барқарор ривожлантириши бўйича илмий асосланган таклифлар тақдим этилди.

Калит сўзлар: эконометрик таҳлил, статистика, корреляцион таҳлил, ко'п факторли эконометрик модел, барқарорлик, рақамли иқтисодиёт, атом энергияси, қайта тикланадиган энергия, энергия тежаши, энергия самарадорлиги, ёқилғи-энергетика комплекси.

В статье предложены основные эконометрические факторы методологии устойчивого развития предприятий топливно-энергетического комплекса Республики Узбекистан. Проведен корреляционный и регрессионный анализ предложенных эконометрических факторов. По результатам проведенного анализа представлены научно-обоснованные предложения по эффективному и безопасному устойчивому развитию отраслей энергетического сектора национальной экономики.

Ключевые слова: эконометрический анализ, статистика, корреляционный анализ, многофакторная эконометрическая модель, устойчивое развитие, цифровая экономика, атомная энергетика, возобновляемые источники энергии, энергосбережение, энергоэффективность, топливно-энергетический комплекс.

The article proposes the main econometric factors of the methodology of sustainable development of enterprises of the fuel and energy complex of the Republic of Uzbekistan. The correlation and regression analysis of the proposed econometric factors is carried out. Based on the results of the analysis, scientifically based proposals for the effective and safe sustainable development of the energy sector of the national economy are presented.

Keywords: econometric analysis, statistics, correlation analysis, multifactorial econometric model, sustainable development, digital economy, nuclear power, renewable energy sources, energy conservation, energy efficiency, fuel and energy complex.

Введение. Степень развития экономической системы взаимосвязана с деятельностью ТЭК, что определяет экономический потенциал, объем и эффективность промышленного производства. Изучая процессы и явления, исследователи наталкиваются на проблему изучения не отдельных показателей, а их

совокупности, взаимного влияния друг на друга и взаимосвязи между собой. На сегодняшний день устойчивое развитие предприятий топливно-энергетического комплекса является основой эффективного развития современного мирового сообщества. Предприятия топливно-энергетического комплекса должны обеспечить энергетическими ресурсами растущее население планеты и устойчивое развитие мировой экономики со среднегодовыми темпами роста ВВП 3,5-4%, что приведёт к росту мирового энергопотребления к 2030 году в 1,3-1,5 раза. Постоянно совершенствуются методы и механизмы управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятий ТЭК, повышается интенсивность системных преобразований в отрасли, активно используются достижения инновационных процессов, методы математической статистики, математического моделирования и прогнозирования устойчивого развития данных предприятий, что, в свою очередь, стимулирует рост конкурентоспособности производимой ими продукции.

Литературный обзор. Устойчивое развитие предприятий топливно-энергетического комплекса соединяет в себе две противоположности: с одной стороны устойчивость как стабильность состояния предприятий определенной отрасли, а с другой стороны, развитие, как процесс, направленный на изменение объекта с целью его усовершенствования^{1,2,3,4}. Исследования посвященные изучению методов математического моделирования и прогнозирования устойчивого развития предприятий промышленности проводятся в научных центрах и образовательных учреждениях ведущих стран мира, в том числе в World bank (Economic Development Institute), EBRR (Европейский банк реконструкции и развития), ABD (Азиатский банк развития), Economic Development Institute, IEA (Мировое энергетическое агенство), WEC (Мировой энергетический совет), Harvard University, New York University, University of Chicago (США), University of Manchester, London school of Economics, University of Huddersfield (Великобритания).

Методология исследования. В статье были использованы различные виды анализов: эвристической и экспертной оценки, статистическая группировка, корреляция, экономико-статистический, графический анализ и другие методы.

Анализ и результаты. Для того чтобы создать модель устойчивого развития ТЭК необходимо использовать методы математической статистики, к числу которых

¹ Батов Г.Х., Шеожев М.А. Экономическая оценка факторов, обеспечивающих устойчивое развитие предприятий промышленности региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 52. -С. 12-19.

² Комаров М.А., Жигаев Г.В. Факторы устойчивого развития предприятий промышленности // Вестник Московского государственного гуманитарно-экономического института. 2017. № 4. С. 82-89.

³ Вяткин М.Н. Разработка основных элементов экономической стратегии устойчивого развития предприятий добывающей промышленности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Москва, 2015.

⁴ Филиппова М. Г. Анализ современного состояния и развития промышленности России в период реализации федеральной кластерной политики [Текст] / М. Г. Филиппова // Молодой ученый. 2017. -№11. -С. 495- 500.

относится многофакторный анализ. В число методов последнего входит корреляционный анализ определенных факторов. При изучении тех или иных явлений признаки (факторы) можно разделить на две группы: зависимые факторы и независимые. Такое деление является чисто условным, так как фактор, являющийся зависимым в одном случае, может стать независимым в другом. Изучая массовые явления, в частности, экономические явления, необходимо логически провести классификацию всех изучаемых признаков (факторов) на независимые и зависимые.

Для правильного выбора подходящей производственной функции устойчивого развития предприятий ТЭК в соответствии с характером экономического процесса необходимо изучение комплекса взаимосвязей технологических, управленческих и ряда других характеристик моделируемого объекта.

Будем придерживаться следующих обозначений:

i - номер изучаемого фактора, $i \in N$; X_i - изучаемый независимый фактор; Y - изучаемый зависимый фактор. В отдельных ситуациях Y можно рассчитать как функцию от X_i : $Y = f(X_1, X_2, X_i, \dots, X_n)$. В этом случае говорят, что Y и множество X_i связаны функциональной зависимостью. Функция $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ должна включать в себя еще случайную переменную "U": $Y = f(X_1, X_2, X_i, \dots, X_n, U)$. Изучая объем выпуска продукции Y на предприятии, естественно полагать, что он зависит от затрат различных видов ресурсов X_i и записать: $Y = f(X_1, X_2, X_i, \dots, X_n)$. Данное соотношение представляет собой модель, которая устанавливает, каким образом переменные связаны между собой. В общем случае связь между зависимой переменной Y (результативным показателем) и n независимыми переменными можно записать: $Y = f(X_1, X_2, X_i, \dots, X_n)$.

Для модели устойчивого развития предприятий ТЭК необходимы исходные данные о результативном факторе и факторах, оказывающих в той или иной степени влияние на него. В качестве признака результата, характеризующего устойчивое развитие ТЭК, нами был взят показатель - чистый объем производства и продаж топливно-энергетических ресурсов, млрд. сумов - (V_i), так как финансово устойчивое развитие предприятий отрасли во многом обеспечивается данными показателями. Наличие достаточного уровня дохода позволяет предприятиям проводить мероприятия по совершенствованию деятельности в производственной, социальной и экологической сферах, что обеспечивает устойчивое развитие предприятий, отрасли и экономики в целом.

Для выбора показателей многофакторной эконометрической модели необходим корреляционный анализ. Среди факторов - парные коэффициенты корреляции. Определена матрица коэффициентов парной корреляции между факторами (табл.1).

В табл.1 также представлены коэффициенты для определения надежности и вероятности коэффициентов корреляции. Внизу каждого коэффициента корреляции указано его значение и вероятность, рассчитанные как критерий t-Стьюдента. Устанавливается, что рассчитанная вероятность между факторами не превышает

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

0,05. Например, конкретная корреляция между финансовым результатом от деятельности предприятий ($\ln Y$) и произведенной продукцией ($\ln X_2$) коэффициенты $r_{\ln Y, \ln X_2}$. Это указывает на то, что между этими двумя факторами существует сильная корреляция, что конкретный коэффициент корреляции является надежным и что существует положительная корреляция между двумя факторами с точностью до 98%.

Таблица 1

Матрица парных коэффициентов корреляции между факторами⁵

	LN _Y (Correlation - корреляция)	LN _X ₁ (Correlation - корреляция)	LN _X ₂ (Correlation - корреляция)
LN _Y (Correlation -корреляция)	1.000000		
LN _X ₁ (Correlation -корреляция)	0.081372	1.000000	
(t-Statistic - t-статистка)	0.046586		
(Probability - вероятность)	0.0000		
LN _X ₂ (Correlation -корреляция)	0.983313	0.123215	1.000000
(t-Statistic - t-статистка)	0.011944	1.045698	
(Probability - вероятность)	0.0000	0.2975	

Проведем корреляционный анализ, чтобы выбрать факторы, которые будут включены в многофакторную эконометрическую модель устойчивого развития ТЭК. То есть между факторами существуют частные и двойные коэффициенты корреляции. Результаты представлены ниже (табл.2).

Кроме того, табл.2 также содержит коэффициенты двойной корреляции, которые показывают плотность связи между влияющими факторами ($\ln X_i, \ln X_j$). Здесь самое главное, чтобы влияющие факторы не были тесно связаны друг с другом. То есть мультиколлинеарности быть не должно. Значение коэффициента двойной корреляции между двумя влияющими факторами составляет 0,7.

Если она мала, то мультиколлинеарности не существует. Из данных таблицы видно, что связь между влияющими факторами не превышает 0,7. Следовательно, среди влияющих факторов нет мультиколлинеарности. В табл. 2 также представлены коэффициенты для определения надежности и вероятности коэффициентов корреляции. Внизу каждого коэффициента корреляции указано его значение и вероятность, рассчитанные как критерий t-Стьюдента. Устанавливается вероятность того, что рассчитанная вероятность между факторами не превышает 0,05.

Это указывает на то, что между этими двумя факторами существует сильная корреляция, то есть конкретный коэффициент корреляции является надежным и что существует положительная корреляция между двумя факторами с точностью 95%.

Следовательно, коэффициенты корреляции между факторами, включенными в многофакторную эконометрическую модель, удовлетворяют требованиям вероятности, рассчитываемых по критерию t-Стьюдента. На основе этих факторов можно будет создать многофакторную эконометрическую модель, определяющую объемы производства.

⁵ Разработано автором.

Таблица 2

Коэффициенты удельной и двойной корреляции между факторами⁶

	LN _Y	LN _{X1}	LN _{X2}	LN _{X3}	LN _{X4}	LN _{X5}	LN _{X6}	LN _{X7}
LN _Y	1.000000							
LN _{X1}	0.959460	1.000000						
	14.44294	-----						
	0.0000	-----						
LN _{X2}	-0.873475	-0.705398	1.000000					
	-12.07690	-9.047594	-----					
	0.0000	0.0000	-----					
LN _{X3}	0.889370	0.702631	-0.672051	1.000000				
	8.253248	6.138380	-7.559646	-----				
	0.0000	0.0000	0.0000	-----				
LN _{X4}	0.956756	0.675320	-0.709541	0.631703	1.000000			
	13.95425	18.74084	-9.284707	6.355352	-----			
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-----			
LN _{X5}	0.712295	0.623843	-0.674883	0.590690	0.620808	1.000000		
	4.305598	3.386531	-5.200954	3.105828	3.359683	-----		
	0.0004	0.0033	0.0001	0.0061	0.0035	-----		
LN _{X6}	0.850677	0.561339	-0.573736	0.696533	0.614323	0.624114	1.000000	
	13.00327	14.81145	-7.621177	5.589531	9.578443	3.388943	-----	
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	-----	
LN _{X7}	0.869620	0.562071	-0.696662	0.636777	0.432698	0.668472	0.667075	1.000000
	16.81703	14.96235	-8.592920	6.483772	10.97193	3.813294	16.12223	-----
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	-----

Исходя из изложенных выше соображений, для создания многофакторной эконометрической модели устойчивого развития производственной деятельности в нефтегазовом секторе (квартальные данные за 2010-2020 гг.) были выбраны следующие факторы: результат - объем продаж, млрд сум. - (Y), влияющие факторы - количество потребителей ТЭР, предпр. - (X_1), стоимость продукции, млрд. сум, - (X_2), количество месторождений, км².ед. - (X_3), доля ВИЭ, млн. сум. - (X_4), всего транзакций через POS-терминалы, млрд. сум. ед. - (X_5), модернизация ОПФ штук.ед. (X_6), транспортные расходы, млн. сум (X_7).

При эконометрическом моделировании показателей в топливно-энергетическом комплексе, прежде всего, выявляются и представляются в виде временных рядов факторы, влияющие на данную отрасль и ее развитие. На основе этих временных рядов проводится описательная статистика до разработки эконометрической модели. То есть для каждой переменной рассчитываются значения таких показателей, как средние значения, показатели моды и медианы, стандартные

⁶ Разработано автором.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

отклонения, показатели асимметрии и превышения, статистика Жака-Бера⁷ и вероятности:

- чистый объем продаж топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), млрд. сумов - (Y)

- инвестиции в основной капитал, млрд. сумов (X1);

- себестоимость реализованной продукции, млрд. сум. (X2);

По исходным данным для данных показателей коэффициент вариации не превышает нормативное значение, следовательно, данные факторы можно включить в исследование. Расчет коэффициента парной корреляции между факторами инвестиций в основной капитал, млрд. сумов (X_{1i}) и чистый объем продаж продукции (ТЭР), млрд. сумов - (Y_i) представлен в табл.3.

Таблица 3

Расчетные данные для определения коэффициента парной корреляции с фактором
объем продаж в ТЭК⁸

Года	X _{1i} млрд сум	Y _i млрд сум.	X _{1i} *Y _i	(X _{1i} - \bar{X}_{1i}) ²	(Y _i - \bar{Y}) ²
1	2	3	4	5	6
2003	32,019	47,056	0,023	12,3963	19,807
2004	20,044	40,024	0,001	11,7497	31,2084
2005	24,012	40,093	0,1767	2,6497	30,1669
2006	21,141	30,254	0,9906	0,1385	34,0991
2007	24,043	30,031	0,0217	7,9963	31,5444
2008	14,140	20,049	0,2450	2,1674	30,6522
2009	9,1244	10,023	0,0092	9,7830	30,9408
2010	11,781	16,851	8,9186	5,7274	16,016
2011	14,453	20,231	0,8085	0,0008	28,6701
2012	11,402	13,546	6,3386	0,3274	16,3171
2013	27,743	40,423	0,4125	11,7497	31,1972
2014	42,044	50,614	1,4122	1,5074	38,4331
2015	42,782	54,102	0,1326	4,9630	32,3470
2016	50,147	60,356	0,0578	11,7497	31,1972
2017	63,758	75,081	0,1053	4,9630	32,1086
2018	56,745	70,095	0,2565	0,6852	32,2674
2019	32,745	40,014	0,0140	6,3897	31,3538
2020	42,852	45,881	2,7002	0,4519	23,7318

Среднее значение переменной находится следующим образом:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (1)$$

где n - количество наблюдений.

Среднее значение определяется отношением общего количества наблюдений во временном ряду к количеству наблюдений. Поскольку единицы измерения переменных различаются, и для лучшего объяснения интерпретации многофакторной

⁷ Й. Шумпетер Теория экономического развития. – М., Прогресс, 2012. –455 с.

⁸ Разработано автором.

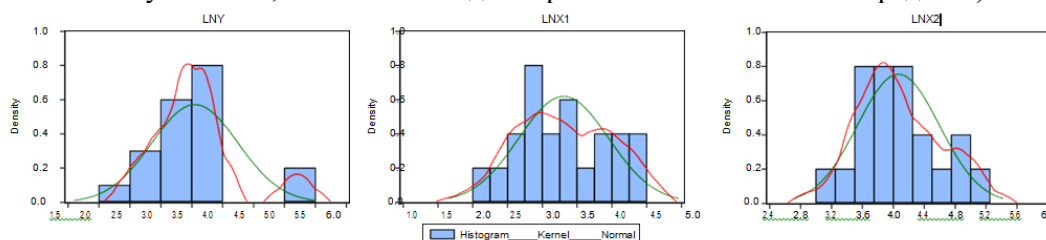
эконометрической модели мы логарифмируем значения всех факторов. Для этого использовалась специальная программа эконометрического моделирования - EViews 10. Описательная статистика по факторам (табл. 4.)⁹.

Таблица 4

Описательная статистика по факторам

	LN _Y	LN _{X₁}	LN _{X₂}
Mean (Средняя величина)	0,345033	1,35108	1,387276
Median (Медиана)	0,398742	1,36971	1,377242
Maximum (Максимальная величина)	0,232229	1,37550	1,397017
Minimum (Минимальная величина)	0,577948	1,38006	1,350995
Std. Dev. (Стандартное отклонение)	0,370198	1,38480	1,364023
Skewness (Коэффициент асимметрии)	0,000146	1,39500	1,350003
Kurtosis (Коэффициент эксцесса)	0,258934	1,36978	1,357936
Jarque-Bera (Коэффициент Жак-Бера)	0,412378	1,35474	1,350321
Probability (Вероятность)	0,456123	1,38324	1,381246
Sum (Сумма)	210,9243	8,26105	7,876556
Sum Sq. Dev. Сумма стандартных отклонений	124,254	15,879	18,45579
Observations (Количество наблюдений)	118	118	118

Из данных таблицы можно увидеть среднее значение (среднее значение), медианное значение (максимум), максимальное и минимальное значения (максимум, минимум) каждого фактора. Кроме того, дано стандартное отклонение каждого фактора (std. Dev. (Стандартное отклонение) - коэффициент стандартного отклонения указывает, насколько каждая переменная отклоняется от среднего).

Рис.1. Графики функций нормального распределения факторов¹⁰

Из рис.1 видно, что практически все факторы подчиняются закону нормального распределения. Коэффициент превышения некоторых факторов больше, чем теоретический график нормального распределения ($\ln Y$, $\ln X_1$ и $\ln X_2$). В одни годы некоторые факторы резко увеличивались, а в другие изменения были незначительными. В целом все изученные факторы подчиняются закону нормального распределения. График нормального распределения результирующего фактора приведен ниже (рис. 2). Для этого используется антресоль Жака-Бера. Этот критерий является статистическим критерием, который проверяет ошибки наблюдений для

⁹ Разработано автором.

¹⁰ Разработано автором.

момента (асимметрии), наблюдаемого с моментами нормального распределения и четвертого момента (эксцесса) для нормального распределения, и $S=0,09$ и $K=2,15$.

Степень свободы этой статистики делится на χ^2 - квадрат двух степеней свободы, потому что S - коэффициент асимметрии и K - избыточный коэффициент являются асимптотической нормой, следовательно, его квадраты также являются асимптотической нормой.

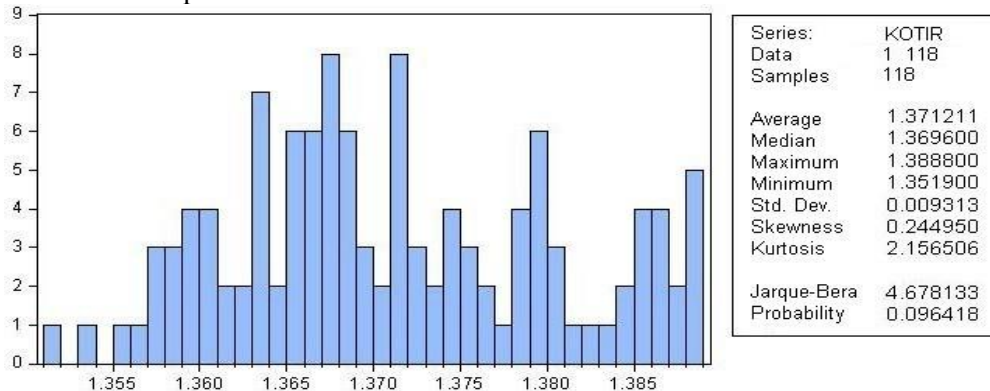


Рис.2. Проверка полученного множителя к подчинению закону нормального распределения ¹¹

Из рисунка 2 ясно видно, что результирующий коэффициент подчиняется нормальному распределению. Это подтверждается расчетными параметрами и критериями, т.е. расчетный коэффициент Жака-Бера равен 4,68, а его вероятность меньше 0,09.

Научно-обоснованные предложения. Проведенные исследования позволили определить, что конкретные коэффициенты корреляции представляют собой тесную взаимосвязь между результирующим фактором и факторами, влияющими на него. Следовательно, данные коэффициенты корреляции указывают на то, что существует сильная корреляционная зависимость между фактором результата (объем услуг электронной коммерции, $\ln Y$) и влияющими факторами, то есть значение конкретных коэффициентов корреляции больше 0,7. Также наблюдается прямая зависимость между исследуемыми факторами устойчивого развития ТЭК Республики Узбекистан, а отсутствие автокорреляции в результирующих остатках факторов также предполагает, что многофакторная эконометрическая модель, описанная выше, может быть использована при прогнозировании. Таким образом проведенный анализ эконометрических факторов устойчивого развития предприятий топливно-энергетического комплекса Республики Узбекистан выявил, что первостепенными факторами, влияющими на устойчивое развитие предприятий ТЭК является объем добытых и произведенных топливно-энергетических ресурсов и объем продаж продукции предприятий ТЭК. Также определена прямая связь между финансовым

¹¹ Разработано автором.

результатом и такими факторами как объем добычи топливных ресурсов, количество месторождений, количество потребителей ТЭР, увеличение доли альтернативных источников энергии в общем энергобалансе республики и т.д., что подтверждается коэффициентом множественной корреляции, который составляет 0,9328.

Литература

1. Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

2. № УП-5544 от 21 сентября 2018 года «О стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2019-2021 годы».

3. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. -Т.:Fan va texnologiyalar nashriot-matbaa uyi. 2021, -952 С.

4. Аллаева Г.Ж. Перспективы устойчивого развития предприятий топливно-энергетического комплекса Республики Узбекистан. //Монография. – Ташкент: Fan va texnologiyalar, 2021. - 160 с.

5. Аллаева Г.Ж. Устойчивое развитие предприятий ТЭК РУз в условиях цифровой экономики. / Саноат иқтисодиёти ва менежменти. Республика илмий-амалий анжуманни материаллари – Т: 2021 й., 29 апрель. -С. 368-372.

6. Аллаева Г.Ж., Махкамова М.А. Перспективные технологии в электроэнергетике – основа энергосбережения и энергетической безопасности Узбекистана. // Спец. выпуск журнала «Проблемы энерго-и ресурсо-сбережения». Тошкент, 2019. - С. 208-212.

7. Ахмедов Т.М., Муинов Д.А., Шоахмедов Ш.Ш. Промышленная стратегия в Узбекистане: аспекты проблем и формирования / Под ред. Муинова Д. А. - Т.: ЦЭЭП, 2005. – 120 с.

8. Дударев А.С. Факторы устойчивого экономического развития // Предприниматель. 2013. - № 8. – С. 56-59.

9. Ходиев Б.Ю., Махмудов Н.М. Миллий иқтисодиётнинг етакчи тармоқларини барқарор ривожлантириш омиллари ва тенденциялари. – Т: Иқтисодиёт. 2018. - 344 б.

10. Батов Г.Х., Шеожев М.А. Экономическая оценка факторов, обеспечивающих устойчивое развитие предприятий промышленности региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. - № 52. - С. 12-19.

11. Комаров М.А., Жигаев Г.В. Факторы устойчивого развития предприятий промышленности // Вестник Московского государственного гуманитарно-экономического института. 2017. - № 4. - С. 82-89.

12. Вяткин М.Н. Разработка основных элементов экономической стратегии устойчивого развития предприятий добывающей промышленности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Москва, 2015.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

13. Филиппова М.Г. Анализ современного состояния и развития промышленности России в период реализации федеральной кластерной политики [Текст] / М. Г. Филиппова // Молодой ученый. 2017. - №11. - С. 495- 500.

14. Кучерова Е.Н. Современный подход к устойчивому развитию предприятия // Вестник оренбургского государственного университета. 2007. – № 9 (73). – С. 76–81.

15. Развитие устойчивой инфраструктуры для перехода к низкоуглеродной экономике стран Центральной Азии и Кавказа: Отображение ситуации с потенциально высокоэффективными инфраструктурными проектами и оценка потребностей. Стратегическое планирование инфраструктуры для устойчивого развития в Узбекистане. Специальная рабочая группа по «зеленым» действиям ОЭСР. Париж. 30.09 – 01.10. 2019.

16. Министерство энергетики: цели, задачи, планы и достижения.

17. Шумпетер Й. Теория экономического развития. – М.: Прогресс, 2012. –455 с.

18. Burrows M. A Strategic View of the Energy Future./ M. Burrows, G. Treverton. –Washington: GPO, 2008. – 142 p.

19. International Energy Outlook 2019. U.S. Energy Information Administration Office of Energy Analysis U.S. Department of Energy. – Washington, DC 20585, 2019. – 85 p.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 541.123

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ И ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ**Ж.Э. Сафаров, Ш.А. Султанова, А.С. Понасенко**

Ushbu maqolada faollashuv energiyasi diffuziya jarayonlarining asosiy xususiyatlaridan biri sifatida tahlil qilingan. Ushbu miqdorning nazariy hisob-kitoblari va eksperimental baholari ko'plab ishlarning mavzusidir. Biroq, ma'lumotlarni taqqoslash ko'plab tizimlar uchun juda ziddiyatli natijalarni ko'rsatadi. Misol uchun, hatto bunday yaxshi o'rganilgan jarayon uchun ham faollashuv energiyasi bo'yicha nazariy va eksperimental ma'lumotlar o'rtasida sezilarli tafovut olingan. Tajribalarda qovoq mahsulotini quritish jarayonida diffuziyaning faollashuv energiyasiga bog'liqliklari tahlil qilingan. Mahsulotning quritish xususiyatini yaxshiroq tushunish uchun qisqarish ta'sirini ham hisobga olish kerak. Har bir haroratda quritilgan namunalar mahsulotning qisqarish ta'sirini o'rganish uchun ishlatilgan.

Kalit so'zlar: energiya, diffuziya koeffitsienti, mahsulot, namlik, quritish, harorat.

В данной статье энергия активации анализируется как одна из основных характеристик диффузионных процессов. Теоретическим расчетам и экспериментальным оценкам этой величины посвящено много работ. Однако сравнение справочных данных обнаруживает довольно противоречивые результаты по многим системам. Например, даже для такого хорошо исследованного процесса получено значительное расхождение между теоретическими и экспериментальными данными по энергии активации. В экспериментах проанализированы зависимости диффузии от энергии активации в процессе сушки тыквенной продукции. Чтобы лучше понять поведение продукта при сушке, следует также учитывать эффект усадки. Образцы, высушенные при каждой температуре, использовали для исследования эффекта усадки продукта.

Ключевые слова: энергия, коэффициент диффузии, продукт, влага, сушка, температура.

In this article, the activation energy is one of the main characteristics of diffusion processes. Theoretical calculations and experimental estimates of this quantity are the subject of many works1–10. However, a comparison of the reference data reveals rather conflicting results for many systems. For example, even for such a well-studied process, a significant discrepancy between the theoretical and experimental data on the activation energy has been obtained. The dependences of diffusion on the activation energy during the drying process of pumpkin products were analyzed in the experiments. In order to better understand the drying behavior of a product, the effect of shrinkage should also be taken into account. Samples dried at each temperature were used to study the shrinkage effect of the product.

Keywords: energy, diffusion coefficient, product, moisture, drying, temperature.

Введение. Одним из проблемных вопросов расчетной практики массообменных процессов является знание физических закономерностей массопереноса и информация о кинетических коэффициентах. Разработаны различные математические модели [1–6], описывающие влияние структуры и массосодержания (концентрации) распределяемого вещества на эффективный коэффициент диффузии в твердой фазе. Тем не менее имеются еще значительные трудности в расчете последнего, что вызывает необходимость его экспериментального определения.

Большинство методов расчета эффективного коэффициента диффузии разработано и применяется для капиллярно-пористых материалов, при наличии ряда значений коэффициента свободной диффузии и характеристик структуры пор в твердой среде или растворе.

Энергия активации – это количество энергии, которое необходимо преодолеть, чтобы произошла химическая реакция. Теоретическим расчетам и экспериментальным методам определения энергии активации посвящено достаточно много исследований [1-3]. Однако сопоставление литературных данных выявило наличие весьма существенных противоречий [4]. Теоретический расчет энергии активации в такой постановке достаточно затруднителен. Поэтому различные авторы связывают ее с некоторыми другими величинами, которые можно рассчитать или экспериментально установить.

Основная часть. Рассчитаны эффективные коэффициенты диффузии при сушке тыквы для разных температур. С помощью уравнения эффективный коэффициент диффузии для температур воздуха 45 °С, 55 °С и 65 °С был найден равным $2,02 \times 10^{-10}$, $5,05 \times 10^{-10}$ и $8,08 \times 10^{-10}$ м²/с, соответственно.

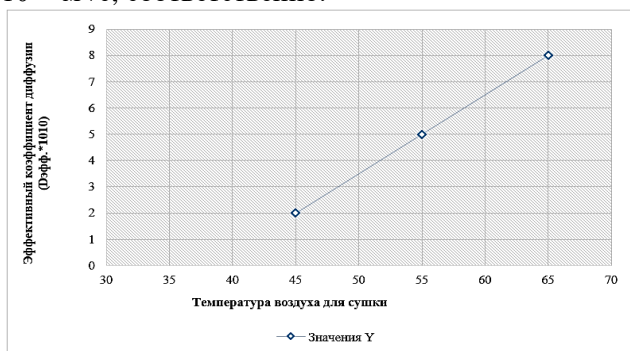


Рис.1. Изменение эффективного коэффициента диффузии в зависимости от температуры осушающего воздуха

Линейное уравнение зависимости эффективного коэффициента диффузии от температуры (рис. 1) было найдено как $D_{эфф.} = 0,303T - 10,1$ и $R^2 = 1$. Как видно на рис. 1,

эффективный коэффициент диффузии также увеличивается при повышении температуры воздуха для сушки.

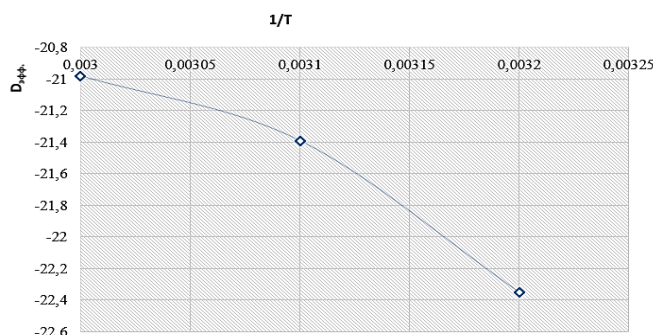


Рис.2. Изменение эффективного коэффициента диффузии в зависимости от температуры ($1/T$)

Уравнение использовалось для нахождения энергии активации. Энергия активации была рассчитана как 61,1 кДж/моль с использованием наклона графика $\ln(D_{эфф.})-1/T$, показанного на рис. 2.

Чтобы лучше понять поведение продукта при высыхании, следует также учитывать эффект усадки. Образцы, высушенные при каждой температуре (45 °С, 55 °С и 65 °С), использовали для исследования эффекта усадки продукта.

Уравнение использовалось для расчета коэффициента усадки изделия. Установлено, что коэффициенты усадки продукта при температуре воздуха для сушки 45 °С, 55 °С и 65 °С составляют примерно 23%, 32% и 40% соответственно. При повышении температуры на каждые 10 °С объемное изменение продукта составляло примерно 8,5%. На рис. 3 приведена зависимость между влажностью продукта и изменением коэффициента усадки после 6 часов сушки ломтиков тыквы при различных температурах. На основании этих результатов можно сказать, что температура воздуха для сушки является эффективным параметром усадки продукта.

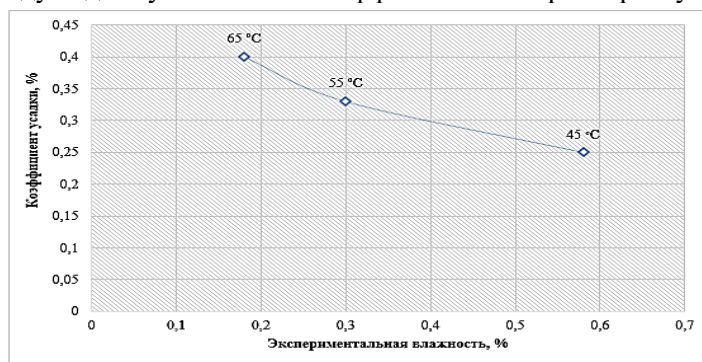


Рис.3. Изменение влажности с коэффициентом усадки в конце сушки при разных температурах

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Численное исследование и проверочный анализ процесс сушки. В исследовании принудительной конвекционной сушки использовалась двумерная осесимметричная модель для определения одновременных уравнений тепло- и массопереноса (рис. 4). Численное решение реализуется путем моделирования полусреза поперечного сечения цилиндрического образца.

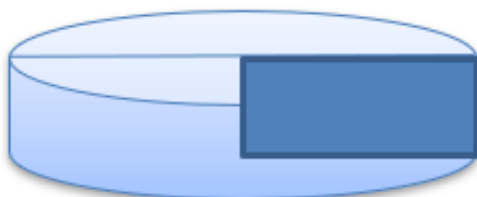


Рис. 4. Осесимметричная модель

Предположения, сделанные для анализа процесса сушки, следующие:

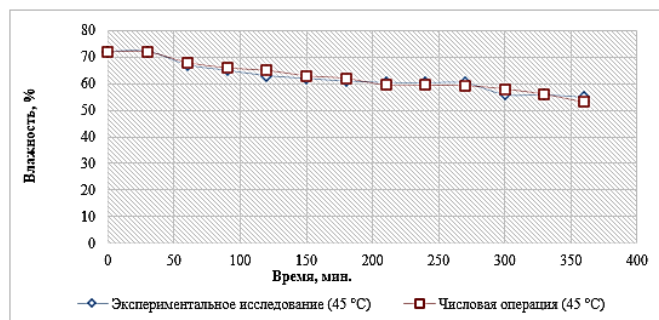
- изначально содержание влаги и значение температуры в продукте принимались однородными (равномерными);
- теплоперенос в продукте осуществляется кондуктивным путем, а массоперенос жидкости – диффузионным;
- происходит передача тепла от воздуха к продукту за счет конвекции и теплопроводности, диффузия от твердого тела к воздуху и перенос массы за счет конвекции;
- учитывается эффект усадки (эффективный коэффициент диффузии за счет эффекта усадки) на продукт во время сушки;
- влияние радиации не учитывается;
- теплофизические свойства воздуха считались постоянными в течение периода сушки.

Прежде всего, чтобы найти наиболее подходящую сетчатую структуру модели, было проведено исследование независимости сети с использованием средних значений влажности с точностью до 0,001. Нелинейные одновременные уравнения тепло- и массопереноса для осушающего воздуха 45 °С, 55 °С и 65 °С решаются методом конечных элементов (Matlab) с начальными и граничными условиями. Уравнения решаются со значением допуска 0,001 для 30-минутных временных шагов. Исходные условия, использованные при анализе, и теплофизические свойства продукта приведены в таблице 1.

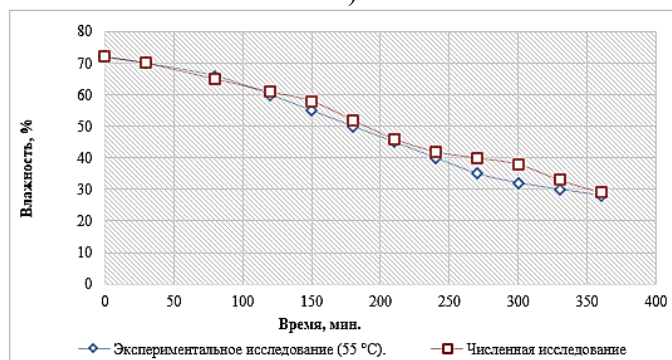
Таблица 1

Теплофизические свойства тыква и экспериментальные условия сушки

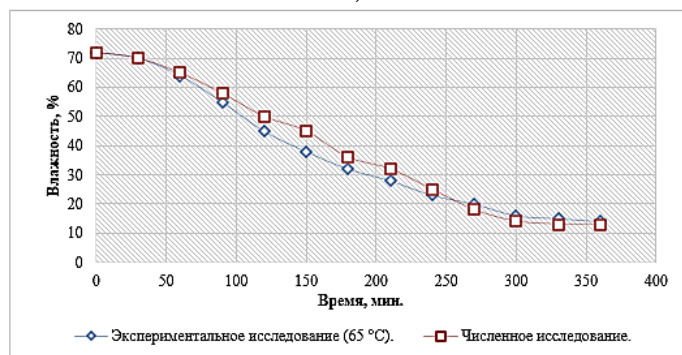
№	Параметры	Единица
1	Плотность продукта, кг/м ³	980
2	Коэффициент теплопередачи, Вт/мК	0,006M+0,120
3	Удельная теплоемкость, Дж/кгК	0,811M ² -24,75+1742
4	Энтальпия испарения (Дж/кг)	0,23*10 ⁷
5	Скорость воздуха, м/с	0,5, 0,7, 1,0
6	Начальная влажность продукта, %	72
7	Температура сушка, °С	45, 55, 65



а)



б)



в)

Рис.5. Изменение влажности продукта во времени в процессе сушки:
а-45 °C, б-55 °C, в- 65 °C

Модель была проверена путем сравнения значений содержания влаги и температуры, полученных в результате экспериментов и численного моделирования. На рис.5 дано сравнение значений влагосодержания, полученных в результате эксперимента, со средними значениями влагосодержания, полученными в результате анализа для различных температур сушки воздуха. Было замечено, что существует

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

разница примерно в 2,2%, 2,9% и 6,8% между значениями, полученными в результате эксперимента и анализа, по сравнению с температурами 45 °С, 55 °С и 65 °С.

Численный анализ также проводился без учета усадочной ситуации. Результаты моделей с усадкой и без нее представлены на рис. 5. Что касается содержания влаги в пищевом продукте, между численными результатами условий усадки и без усадки была получена разница примерно в 2%.

Как видно на рис. 5, в отличие от других сравнений, регрессионный анализ был выполнен для графических изменений результатов двух сравниваемых методов. Здесь для линейных кривых используется простая модель линейной регрессии ($y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$; β_1 -точка отсечки регрессии; ε -значение ошибки, наклон регрессии).

В некоторых случаях связь между переменными может быть нелинейной. В этих случаях используется полиномиальная регрессия. Формула полиномиальной регрессии: $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2^2 + \dots + \beta_i X^i + \varepsilon$.

Коэффициент регрессии показывает нам, сколько % зависимых переменных (у температура, влажность) в модели можно объяснить независимыми переменными (х время).

Таблица 2

Линейный регрессионный анализ содержания влаги экспериментального исследования в зависимости от времени при 45 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R ²	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	1	183,906	183,906	702,26	98,46	0,51	$y = 71,30 - 0,03351x$
2	Ошибка	11	2,881	0,262				
3	Общий	12	186,786					

СС-степени свободы; ССК-скорректированная сумма квадратов; ССКв-скорректированные средние квадраты; ЗС-значение статистики; R²- коэффициент регрессии; СО-стандартная ошибка.

Таблица 3

Линейный регрессионный анализ влажности численного исследования при 45 °С в зависимости от времени

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R ²	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	1	307,97	307,97	1266,84	99,14	0,49	$y = 71,86 - 0,04336x$
2	Ошибка	11	2,674	0,243				
3	Общий	12	310,644					

Таблица 4

Линейный регрессионный анализ содержания влаги экспериментального исследования в зависимости от времени при 55 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R ²	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	1	896,14	896,14	2837,58	99,61	0,56	$y = 71,50 - 0,07397x$
2	Ошибка	11	3,474	0,316				
3	Общий	12	899,614					

Таблица 5

Линейный регрессионный анализ влажности численного исследования с эффектом усадки при 55 °С во времени

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R ²	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	1	882,421	882,421	341,13	96,88	1,6	$y=69,71-0,07340x$
2	Ошибка	11	28,454	2,587				
3	Общий	12	910,875					

Таблица 6

Линейный регрессионный анализ содержания влаги в зависимости от времени безусадочного численного исследования при 55 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R ²	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	1	941,281	941,281	434,4	97,53	1,47	$y=69,03-0,07581x$
2	Ошибка	11	23,836	2,167				
3	Общий	12	965,117					

Таблица 7

Линейный регрессионный анализ содержания влаги в экспериментальном исследовании в зависимости от времени при 65 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R ²	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	1	2119,87	2119,87	5717,06	99,81	0,6	$y=72,66-0,1138x$
2	Ошибка	11	4,08	0,37				
3	Общий	12	2123,94					

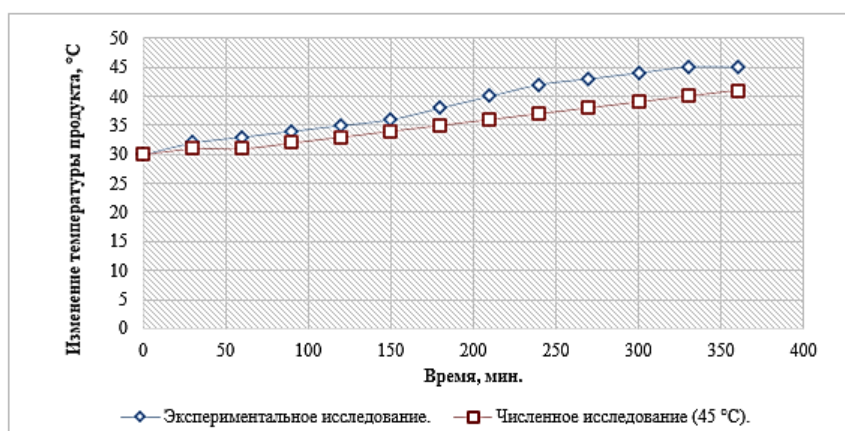
Таблица 8

Линейный регрессионный анализ содержания влаги в численном исследовании при 65 °С в зависимости от времени

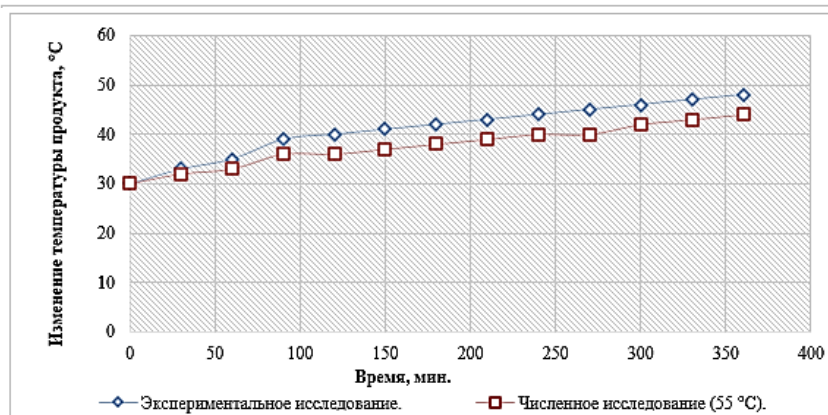
№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R ²	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	1	1272,54	1272,54	318,95	96,67	1,99	$y=68,69-0,8814x$
2	Ошибка	11	43,89	3,99				
3	Общий	12	1316,42					

По результатам регрессионного анализа влагосодержания, полученного для температуры 45 °С в табл. 2 и 3, можно сказать, что он является более точной оценкой изменения влагосодержания в зависимости от времени сушки, так как R² значение численного исследования ближе к 1. По результатам регрессионного анализа, выполненного для 55 °С в тех же условиях в табл. 4, 5 и 6, видно, что экспериментальное исследование дало лучшие результаты. По результатам регрессионного анализа для 65 °С видно, что экспериментальные данные имеют лучшую оценку содержания влаги (табл. 7 и 8).

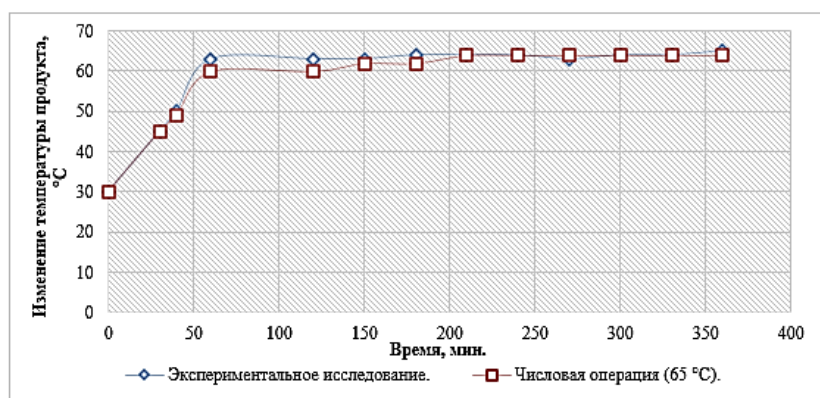
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ



а)



б)



в)

Рис. 6. Изменение температуры продукта во время сушки

Значения температуры центра продукта были измерены экспериментально при сушке и рассчитаны численно. На рис. 6 показаны изменения температуры в центре продукта, полученные экспериментально и численно для каждой температуры воздуха сушки. Средняя разница между значениями температуры продукта, полученными в результате экспериментального и численного моделирования, составила 7%, 9% и 5% для температур воздуха сушки 45 °С, 55 °С и 65 °С соответственно. В результате было замечено, что значения влажности и температуры, которые являются результатом численного решения, и данные, полученные в результате эксперимента, совместимы друг с другом.

Криволинейный регрессионный анализ температуры продукта приведен для экспериментальных и численных исследований при температурах 45 °С, 55 °С и 65 °С между таблицами 9 и 11. Видно, что результаты экспериментального исследования для 45 °С и регрессионного анализа численного исследования для 55 °С и 65 °С более адекватны.

Таблица 9

Криволинейный регрессионный анализ зависимости температуры экспериментального исследования от времени при 40°С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R2	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	3	193,19	64,3996	151,25	98,06	0,65	$y=21,49-0,1640x-0,000699x^2+0,000001x^3$
2	Ошибка	9	3,832	0,4258				
3	Общий	12	197,031					

Таблица 10

Криволинейный регрессионный анализ температуры численного исследования в зависимости от времени при 45 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R2	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	3	292,5	97,4999	145,46	97,98	0,81	$y=21,47+0,2120x-0,000920x^2+0,000001x^3$
2	Ошибка	9	6,032	0,6703				
3	Общий	12	298,532					

Таблица 11

Криволинейный регрессионный анализ зависимости температуры экспериментального исследования от времени при 55 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R2	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	3	396,673	132,224	106,22	97,25	1,11	$y=23,12+0,2758x-0,001289x^2+0,000002x^3$
2	Ошибка	9	11,204	1,245				
3	Общий	12	407,877					

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Таблица 12

Криволинейный регрессионный анализ температуры численного исследования
в зависимости от времени при 55 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R2	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	3	661,659	220,553	120,27	97,57	1,35	$y=22,72+0,3180x-0,001404x^2+0,000002x^3$
2	Ошибка	9	16,505	1,834				
3	Общий	12	678,163					

Таблица 13

Криволинейный регрессионный анализ температуры экспериментального
исследования в зависимости от времени при 65 °С

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R2	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	3	765,366	255,122	27,09	90,03	3,06	$y=26,10+0,4330x-0,002145x^2+0,000003x^3$
2	Ошибка	9	84,771	9,419				
3	Общий	12	850,137					

Таблица 14

Криволинейный регрессионный анализ температуры численного исследования
при 65 °С во времени

№	Параметры	СС	ССК	ССКв	ЗС	R2	СО	Уравнение регрессии
1	Регрессия	3	1026,71	342,238	34,04	91,9	3,17	$y=265,90+0,4331x-0,002087x^2+0,000003x^3$
2	Ошибка	9	90,5	10,055				
3	Общий	12	1117,21					

Заключение. В результате нелинейного регрессионного анализа наиболее близкие расчетные значения к экспериментальным данным были получены в моделях Двухчленная и Мидилли при 45 °С, при этом модель Мидилли оказалась пригодной при 55 °С и 65 °С. В соответствии с этим результатом можно сказать, что наилучшей моделью для определения кинетики сушки тыквы является модель Мидилли.

Эффективный коэффициент диффузии при температуре воздуха 45 °С, 55 °С и 65 °С составил $2,02 \times 10^{-10}$, $5,05 \times 10^{-10}$ и $8,08 \times 10^{-10}$ м²/с, соответственно. В соответствии с этим результатом было определено, что температура воздуха для сушки является эффективным параметром эффективного коэффициента диффузии.

В этом исследовании энергия активации тыквы была рассчитана как 61,1 кДж/моль с использованием наклона графика $\ln(D_{\text{эфф}}) \cdot 1/T$.

Литература

1. Doymaz I. Drying kinetics of white mulberry. Journal of Food Engineering, 2004, 61(3): 341-346.

2. Doymaz I. Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus Alba L.*). *Journal of Food Engineering*, 2004, 65(2): 205-209.
3. Chottamom P., Kongmanee R., Manklang C., et al. Effect of osmotic treatment on drying kinetics and antioxidant properties of dried mulberry. *Drying Technology*, 2012, 30(1): 80-87.
4. Adabi M.E., Nikbakht A.M., Motevali A., et al. Investigation of black mulberry drying kinetics applying different pretreatments. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2012, 15(1): 23-34.
5. Shi Q., Zheng Y., Zhao Y. Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. *Energy Conversion and Management*, 2013, 71: 208-216.
6. Li Wen-feng., Xiao Xu-lin., Wang wei. Drying characteristics and model of purple sweet potato in air-impingement jet dryer. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(2): 356-366.
7. Султанова Ш.А. Совершенствование водонагревательной конвективной установки для сушки лекарственных растений. Дисс. докт. фил. PhD. Ташкент, 2018. - 156 с.
8. Артиков А.А., Джураев Х.Ф., З.А Машарипова, Баракаев Б.Н. Системное мышление, анализ и нахождение оптимальных решений (на примерах инженерной технологии). Бухара. Издательство «Дурдона». 2019. -185 с.
9. Понасенко А.С., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э. Результаты экспериментальных исследований процесса сушки. // *Universum: технические науки*. – Москва, 2023. -№5(110), часть 3. –С.36-39.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 664.308.09

**ЭЛЕКТРОИОНИЗАТОР ИШ РЕЖИМЛАРИГА РАЗРЯД ОРАЛИҒИ
ПАРАМЕТРЛАРИ ТАЪСИРИНИ ЎРГАНИШ**

А.Д. Рахматов, Р.К. Қобилов, Х.Н. Мамадиев

Мақолада мева маҳсулотларини сақлаш омборлари учун электр ионизаторларнинг ишчи кўрсаткичларига унинг конструкциясининг таъсирини ўрганиш натижалари келтирилган. Бунда разряд электродларининг шакли ва ўлчамлари муҳим омил деб ҳисобланган. Разряд электродларининг потенциали ортиши натижасида атмосферасидаги ҳаво ионларининг ҳажмий концентрацияси ортиб боради, кейин эса пасаяди. Ионизатор токи эса узлуксиз ортиб боради. Назарий ечимларни текшириш учун ўтказилган экспериментал ишларнинг натижалари кўрсатадики, мева сақлаш камералари шароитида, яъни вентиляция системаси ишлаб турганида ионлар концентрацияси ионизатордан 1 метр масофада $1,6 \cdot 10^3$ ион/м³ ни ташиқил қилади.

Калит сўзлар: электр ионизатор, разряд электродларининг ўлчамлари, ионлар концентрацияси, разряд электродлари потенциали, ионизатор токи, ионизаторнинг вольт-ампер тавсифи, разряд электродлари.

В статье приведены результаты влияния условий окружающей среды на рабочие параметры электроионизаторов в условиях фруктохранилищ. Особенно важным фактором здесь является относительная влажность воздуха фруктохранилищ. При повышенных значениях относительной влажности воздуха в фруктохранилищах воздушные ионы соединяясь с молекулами воды образуют тяжелые ионы, вследствие чего объемная концентрация ионов уменьшается. При этом ток ионизатора увеличивается. Для проверки теоретических предположений нами проведены исследования рабочих параметров ионизатора в условиях высокой относительной влажности воздуха фруктохранилищах. Исследования показали, что в таких условиях концентрация ионов уменьшается на 10–12 %, и на расстоянии 1 метр от ионизатора концентрация воздушных ионов составляет $1,6 \cdot 10^3$ ион/м³.

Ключевые слова: электрический ионизатор, концентрация ионов, потенциал разрядных электродов, ток ионизатора, температура воздуха, вольтамперная характеристика ионизатора, расстояние между электродами, разрядные электроды.

The article presents the results of the influence of environmental conditions on the operating parameters of electric ionizers in fruit storage conditions. A particularly important factor here is the relative humidity of fruit storage. At elevated values of relative air humidity in fruit storage facilities, air ions combine with water molecules to form heavy ions, as a result of which the volume concentration of ions decreases. In this case, the ionizer current increases. To test these theoretical assumptions, we conducted a study of

the operating parameters of the ionizer under conditions of high relative humidity in fruit storages. Studies have shown that under these conditions, the concentration of ions decreases by 10–12% and at a distance of 1 meter from the ionizer, the concentration of air ions is $1,6 \cdot 10^3$ ион/м³.

Key words: *Electric ionizer, relative air humidity, ion concentration, discharge electrode potential, ionizer current, air temperature, current-voltage characteristic of the ionizer, distance between electrodes, discharge electrodes.*

2022 йилда деҳқонларимиз томонидан 12 млн. 640 минг тонна сабзавот ва картошка, 1 млн. 900 минг тонна полиз маҳсулотлари, 1 млн. 680 минг тонна узум етиштирилган. Хукуматимиз томонидан мева-сабзавот ва полиз маҳсулотларини сақлаш, қайта ишлаш инфратузилмасини ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Йилдан йилга қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қайта ишлайдиган кластерлар сони кўпайиб бормоқда, умумий ҳажми 96800 тонна сиғимга эга бўлган 158та совутгичлар қурилди ва модернизация қилинди. Республикамизда 2021 йилда мева- сабзавот ва полиз маҳсулотларини сақлаш имкониятлари 1600 минг тоннани ташкил қилган бўлса, 2022 йилда бу кўрсаткичлар яна 15–20 фоизга оширилди [1,2]. Шундай бўлишига қарамай мева маҳсулотларини сақланиш омборларида маҳсулот исрофлари миқдори юқори бўлиб қолмоқда. Маҳсулот сифатини ошириш мақсадида омборларни совутиш жараёнида турли электротехнологик усуллар, жумладан, электроионизаторлар қўлланилиши мақсадга мувофиқ бўлади. Электроионизаторлар кўплаб технологик жараёнларда қўлланилмоқда. Барча жараёнларда ионлар енгил, ҳаракатчан бўлиши ва кўпчилик ҳолларда, жумладан мева сақлаш омборларида, униполяр, манфий зарядли бўлиши тавсия қилинади. Униполяр ионизация ўсимликлар ва ҳайвонларга таъсир кўрсатишда алоҳида омил сифатида кўрсатиб ўтилади [3, 4].

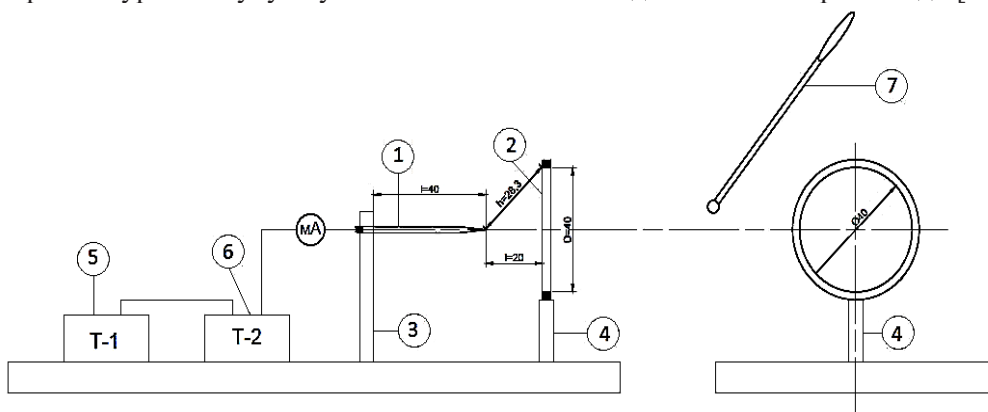
Илмий изланишларнинг мақсади меваларни сақлаш жараёнида электроионизация қурилмаларининг конструктив ишланишининг ионизатор иш кўрсаткичларига таъсирини ўрганишдан иборат. Сақлаш камераларидаги муҳит кўрсаткичлари ташқи атмосфера муҳит шароитларидан фарқ қилади. Мева маҳсулотларини сақлаш омборлари ҳавоси ионлаштирилганида ҳаво ионлари мевалар сиртида ион қатлами ҳосил қилиб, уларни ташқи таъсирлардан сақлайди, яна мева сиртидаги ион қатлами улардаги модда алмашилиш жараёнига таъсир кўрсатиб, меванинг масса йўқотишларини камайтиради, меванинг сувли, сархил ҳолда сақланишини таъминлайди.

Экспериментал изланишлар методикаси. Электроионизаторнинг режим кўрсаткичларига электроионизаторнинг конструктив ишланишининг таъсирини ўрганиш учун бажарилган экспериментал изланишларда қурилманинг электр майдон кўрсаткичлари турли катталиқ шароитларида аниқланди. Изланишларда ҳаводаги ионлар концентрацияси, разряд электродлари потенциали, ток катталиги, ҳавонинг ҳарорати ва намлиги назорат қилинди. Тож разрядли электр майдони потенциалли игнали электродлар ва ерга уланган халқа шаклидаги электродлар орасида олинди. Авалги изланишларимизда игна-халқали разряд оралиғида самарали ионизация

жараёни пайдо бўлиши исботланган [3,5,6]. Тож разряд электр майдони ва ионлашган ҳаво ҳажмидаги кўрсаткичлар контактсиз зондли ва аспирация усулларидадан фойдаланиб ўлчаб олинди. Контактсиз системанинг қўлланилиши техник изланишлар учун етарли бўлган минимал хатолик бўлишини таъминлаб беради [7,8].

Электр ионлаштириш қурилмаларининг асосий кўрсаткичларини ўрганиш бўйича W.Deutch, Ш.Музафаров, Н.Багировлар томонидан изланишлар олиб борилган, уларда игна-халқа шакли электр ионизаторнинг ишчи кўрсаткичларига электродлар шаклининг таъсири ўрганилмаган [8,9,10,11]. Ҳаво электр ионлаштириш қурилмасининг асосий кўрсаткичларини ўрганиш учун уларнинг вольт-ампер ва вольт-ион тавсифларини кўриб чиқилди. Вольт-ампер ва вольт-ион тавсифларни ўрганиш учун қурилманинг мақбул иш режимларидаги кўрсаткичлари олинди.

Дастлаб жараён битта игна ва битта халқа орасида ўрганилди. Бунинг учун экспериментал стенд тайёрланди (1-расм). Игнали разряд электроди (1) ва халқа шаклидаги ерга уланган электрод (2) таянчларга (3,4) маҳкамланган. Игналар ва халқалар энгил ечиладиган қилиб ишланган ва тажрибада турли ўлчамли разряд оралиқлари олинган. Ростловчи ва кучайтирувчи трансформаторлар ёрдамида разряд электродига тож разряди учун етарли кучланиш берилади. Электроддаги кучланиш киловольтметр, разряд токи миллиамперметр, ионлар концентрацияси ўлчов зонди билан ўлчанди. Ҳаво ионлаштириш қурилмасининг самарадорлигини аниқлаш учун унинг вольт-ампер ва вольт-ион тавсифлари ўрганилди. Бунда разряд оралиғида жараённи ўрганиш учун кучланиш катталиги 2 кВ дан 10 кВ гача ростланди [12].



1-расм. Электр ионизаторнинг тавсифларини ўрганиш учун экспериментал стенд
1-разряд электроди; 2-ерга уланган электрод; 3,4-таянч изоляторлар;
5-ростловчи трансформатор; 6-кучайтирувчи трансформатор; 7-ўлчов зонди

Дастлабки битта электрод билан разряд оралиғи тавсифини ўрганишда ионизаторнинг конструктив ўлчамлари сифатида игна билан халқа текислиги орасидаги масофа, ерга уланган халқанинг диаметри, игнанинг узунлиги олинди. Изланишларда ионизаторнинг режим кўрсаткичлари турли кучланишда ўлчаб

олинди. Оптималлаштириш параметри сифатида разряд токи ва ионизатордан турли масофалардаги ионларнинг ҳажмий концентрацияси ўлчаб олинди.

Электр ионизаторнинг тавсифларини ўрганиш учун стенд йиғилган. Кейин ионизаторнинг яхлит конструкцияси олинди, унинг параметрлари ўрганилди. Ионизаторнинг ташқи ўлчамлари мева сақлаш омборидаги вентиляция системасининг ҳаво ҳайдаш каналларининг ўлчамларидан олинди.

Улар квадрат тўртбурчак ва доира шаклларига эга бўлиши мумкин. Разряд электродларини маҳкамлаш учун тўрт бурчак шаклда алюминий каркас тайёрланган ва электродлар орасидаги масофага тенг бўлган масофада тўр қилинган. Тож разряд электродлари турли ўлчамли бўлиб, турли масофаларда корпусга маҳкамланади. Электродлар корпусга енгил ўрнатилади ва ечиб олинади, натижада изланишларда турли конструктив вариантлар олинади. Электродлардаги кучланиш миқдори автотрансформатор воситасида ростланади. Манбаа кучланиши 220В бўлганида кучайтирувчи ва ростловчи трансформаторларда электродлар кучланиши 2кВ дан 10кВ гача оширилади. Ионизатор токи ерга уланган электрод томонидан микроамперметр ва миллиампервольтметр билан ўлчанади.

Электрионизатор катта ҳажмли бинолар ҳавосини, жумладан, мева сақлаш омборлари атмосферасини ионлаштириш учун мўлжалланган. Игнари разряд электродлари вентиляция системасининг каналларига ўрнатилади. Ионизатор каркасининг ўлчамлари вентиляция каналлари ўлчамларига мос қилиб олинди.

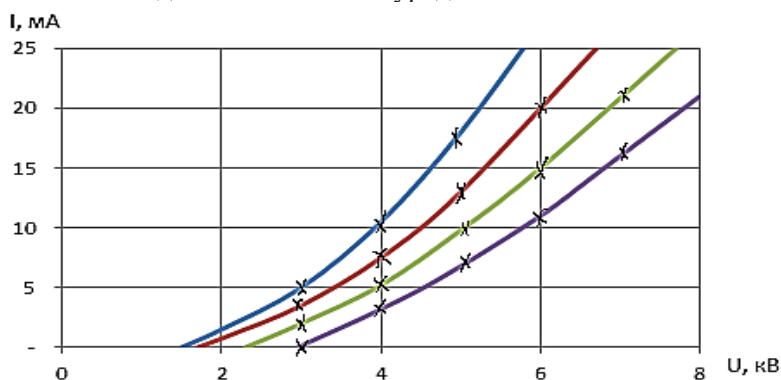
Изланишлар натижалари. Ўтказилган тажрибаларда ҳалқали электрод диаметри 30,40,50 мм ва игнали электродлар узунлиги 30, 40, 50 мм, игнанинг учидан ҳалқа текислигигача масофа 30, 20, 10 мм, игнали электродлар орасидаги масофа ҳалқали электродлар диаметрига мос равишда 30, 40, 50 мм бўлди. Кузатувлар тож разряди бошланишидан максимал ионизация жараёни кетишигача бажарилди. Кучланишни ошириб борилганида дастлаб ионизация жараёни кучайиб боради, кучланишнинг кейинги ортишида разряд токи ортгани билан ионизация интенсивлиги пасайиши кузатилди, яна ҳавода озон пайдо бўлиб, у мевани сақланиш ҳолатига таъсир кўрсатади. Потенцилли электродлар диаметри 1,5 мм ли пўлат стерженлардан тайёрланган. Изланишларда ионизатор характеристикаларига игнали электродларнинг узунлигининг таъсири кузатилмади. Шу сабабли кейинги тажрибаларда игналар узунлиги 25 мм бўлиб, унинг қирраси ҳалқа текислигидан 20мм масофада жойлаштирилди. Ионизатор каркаси ерга уланган электродга диэлектрик таянч орқали бириктирилган. Изоляцияловчи стержен турли ўлчамли бўлиб, разряд оралиғи масофасини ростлаш имконини беради (1-расм). Ерга уланган электрод алюминий листдан тайёрланган ва унда доира шаклида тешиклар кесиб олинди, ҳалқалар ҳосил қилинган. Разряд электродлари ерга уланган электроддаги тешиклар доирасининг ўқи бўйлаб, уларга перпендикуляр жойлашади. Игналарнинг учи ерга уланган электроддан 15-20 мм масофада бўлади ва разряд пайтида бўйлама электр кучлар ҳосил қилиб, ионларни атмосферага чиқиб кетишида электр майдони кучларининг иштирокини таъминлайди.

Дастлабки битта электрод билан олинган вольт-ампер ва вольт-ион характеристикалар 2 расмда келтирилган. Характеристикалар разряд масофаси 18,

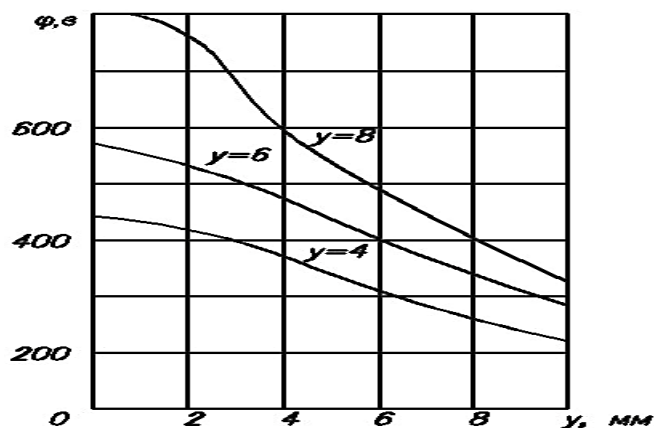
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

22, 28 ва 32 мм бўлганида олинган. Разряд электроида 6 кВ бўлганида игнанинг разряд токи 11 микроампердан 28 микроампергача ортди (2-расм). Бунда худди шу ўлчамлар ва режим учун халқа орқасида ионлар концентрацияси $1,8 \cdot 10^{11}$ ион/м³ дан $1,6 \cdot 10^{13}$ ион/м³ ораликда бўлди. Шу натижалардан келиб чикиб, ионизатор ўлчамлари олинди.

Ионизаторнинг ташқи ўлчамлари вентиляция канали тирқишларига мос равишда бўлди (90x450; 180x450; 225x225 мм ва ҳоказо). Агар битта катта қувватли ионизатор вентиляция канали бошига ўрнатилса ҳам бўлади, лекин бунда ионлар қувур деворларига ўтириб қолиб, катта ионлар исрофига олиб келади. Шу сабабли ионизаторлар канал бўйлаб жойлаштирилади ва кабел орқали қувур бошига ўрнатилган ток манбасидан таъминланиб туради.



2-расм. Турли ўлчамли битта электродли разряд оралиғидаги вольт-ампер характеристикалар



3-расм. Электр тож разряди майдони потенциалининг (φ) экспериментал изланишларда олинган натижалар бўйича тож разряди майдонида тақсимланиши

Экспериментал стендда тож разряд майдонининг электр майдони потенциалининг (ϕ) разряд майдонида тақсимланиши разряд электродларидан турли масофаларда олинди (3-расм). Шу стендда электр майдон кучланганлиги, ионлар зичлиги ва ионларнинг ҳажмий концентрацияси миқдорини ҳам назорат қилиш мумкин. Мева сақлаш камералари шароитида, ҳаво ҳарорати 0°C ва намлиги 90 % бўлганида, ионлар концентрацияси ионизатордан 1 метр масофада $1,2-1,6 \cdot 10^3$ ион/м³ни ташкил қилди. Бу эса мева маҳсулотларини ионлаштирилган ҳаво муҳитида сақлаш технологияси талабларини тўла қониқтиради.

Хулоса. 1. Разряд оралиғи масофаси ортиши ва разряд электродидаги кучланишнинг камайиши билан ионизация жадаллиги пасайиши кузатилди. Разряд оралиғи масофаси 25 мм ва разряд электродлари орасидаги масофа 40 мм бўлганида разряд электродларидаги макбул кучланиш 5–7 кВ бўлди, бунда ионизатордан 1 метр масофада ионлар концентрацияси $1,5 \cdot 10^3$ ион/м³ни ташкил қилди.

2. Игна шаклидаги разряд электродларининг узунлиги, материали ва цилиндрик қисмининг диаметри электроионизатор кўрсаткичлари ва тавсифларига таъсири кузатмади.

Адабиёт

1. ПҚ-5200 сонли “Узум етиштиришни ривожлантириш борасидаги кўшимча тадбир чоралар тўғрисида” Президент қарор. 28.07.21 йил.

2. Ўзбекистонни ривожлантиришнинг бешта устивор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси. – Т., Ўзбекистон, 2017.

3. Раҳматов А.Д. Мева маҳсулотларини сақлашда электр разряди ёрдамида ҳавони ионлаштириш технологиялари / Монография. – Тошкент. ТИҚХММИ. 2017. – 118 б.

4. Музафаров Ш.М. Оптимизация параметров электродной системы “потенциальная плоскость с коронирующими иглами” электрофильтров. // Электротехнологии, оптические излучения и электрооборудование в АПК. Материалы международной конференции. – Волгоград, 2016. – С.112-118.

5. Багиров Н.А. Взаимное экранирование коронирующих электродов при искусственной ионизации воздуха/Труды ВСХИЗО. Вып. 27. – М. 1998. – С. 137-143.

6. Раҳматов А.Д., Ойматова С.Ш. Тож разряд электр майдони кўрсаткичларини экспериментал ўрганиш усуллари. // «Irrigatsiya va Melioratsiya» журнали. – Ташкент, 2017. – № 1(7). – Б. 53-56.

7. W.Deutch. Uber die Dihterverteilung unipolarer ionen stro'me. Annalen der Physik. Folge. Bd10. Helft1,1931. – pp. 847-867.

8. Раджабов А.Р., Музафаров Ш.М. Исследование параметров электродной системы “потенциальная плоскость с коронирующими иглами–заземленная плоскость” // Международная агроинженерия. – Алматы, 2013. – № 1. – С. 34-40.

9. Isakov A.J., MuzafarovSh.M., Characteristics of electric field of steamer from of the corona discharge with reference to the problems of electrical gas cleanin // Europeansciencereview. № 1-2. 2017. – pp.184-186.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

10. Rakhmatov A. Studying Dynamics and Optimization of Air Ions Movement in Large Storage Rooms. Journal of Energy for a Clean Environment/ DOI. 10.1615/ Inter JECE. 2019.032622. hfges 321-338. ISSN Print 2150 -3621. Volume 20. 2019. Issue 4.

11. Ахмедов О.Т. Транспортирование ионизированного воздуха с наименьшими потерями. "Қишлоқ хўжалигини механизациялаш ва электрлаштириш масалалари" мавзусидаги Илмий, ишлаб-чиқариш конференцияси тезислари тўплами. – Тошкент: ТИҚХММИ, 1995. – Б. 67-71.

12. Rakhmatov A. Study on modeling of the air ionization process in the technology of long-term storage. 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021 (ICECAE 2021). United Kingdom.

“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини меҳанизациялаш муҳандислари институти” миллий тадқиқот университети томонидан тақдим этилган

к 80 - летию со дня рождения

О ЖИЗНИ И НАУЧНО–ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОЧЕТНОГО ЭНЕРГЕТИКА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК Рашида Абдурахмановича Сытдыкова



Исполнилось 80 лет со дня рождения известного учёного и педагога в области электроэнергетики Сытдыкова Рашида Абдурахмановича.

Сытдыков Р.А., доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы» Ташкентского государственного технического университета (ТашГТУ) имени И. Каримова, родился 12 октября 1943 года в городе Шахрисабзе Кашкадарьинской области в семье ветеринарного врача.

Его отец Сытдыков Абдурахман Каримович, закончил в 1940 году Самаркандский сельскохозяйственный институт (СамСХИ), ныне Самаркандский институт ветеринарной медицины, работал ветврачом Шахрисабзского района, затем перешел работать в Узбекский научно-исследовательский ветеринарный институт - УзНИВИ (1953 – 1980), далее работал в Среднеазиатском отделении (САО) ВАСХНИЛ (1981-1991), был заведующим секции животноводства и ветеринарии, доктор ветеринарных наук, профессор.

Мама - Сытдыкова (урожденная Бурангулова) Загира Фазлитдиновна – также закончила СамСХИ, агроном-полевод по хлопку, работала в коллективных хозяйствах Шахрисабзского района (1940-1953), с 1953 года работала в ТашСХИ (ныне Ташкентский государственный аграрный университет) преподавателем, заведующей лабораторией.

В 1950 году Рашид Сытдыков поступил в школу №3 Шахрисабза, а с 1953 года, после переезда с родителями в г.Ташкент, учился в школе №18 Ташкента, которую закончил в 1960 году.

В 1960-61 гг. работал токарем на заводе «Фотон», а затем электромонтажником треста «Гидроэлектромонтаж» (1961-62).

В 1962-65 гг. служил срочную службу в рядах Советской Армии.

В 1965 году поступил учиться в Ташкентский политехнический институт (ТашПИ) по специальности «Электрические станции», а завершив обучение в 1970 году, был оставлен работать на кафедре в качестве ассистента.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

На кафедре «Электрические станции» в то время работали известные ученые и педагоги: Удовиченко Б.А, Аронов М.Л., Оранский И.Н., Ливерко И.А., Ашихмин С.В., Насиров Т.Х., Крупенья Ю.Л., Адамец А.А., Ашурматов Т.З., Григорьев Ю.А. и другие. Благодаря им у Рашида Абдурахмановича сформировалось ответственное, глубокое и творческое отношение к научно-преподавательской деятельности.

На своей кафедре, в ТашПИ, он прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой. Также работал заместителем декана энергетического факультета (1986-1989), начальником учебной части ТашПИ (1989-1995), заведующим Учебно-методическим объединением (УМО) ТашГТУ (2001-2004, после переименования ТашПИ).

В 1981-85 гг. обучался в заочной аспирантуре ТашПИ, на кафедре «Электрические сети и системы» (ЭСС) под руководством академика Фазылова Хасила Фазыловича. В период обучения в аспирантуре и позже участвовал в НИР по оптимизации режимов ОЭС Средней Азии. Результаты этих работ вошли в его диссертацию к.т.н. по теме «Оптимизация режимов электроэнергетических систем при дефиците активной мощности», которую он защитил в 1986 году.

В период 1975-1985 гг. Сытдыков Р.А. проходил научно-педагогические стажировки в Уральском политехническом институте (Екатеринбург), Ивановском энергетическом институте (Иваново), Киевском политехническом институте (Киев), Московском энергетическом институте - МЭИ и других вузах, где знакомился с передовыми методами преподавательской деятельности, а также изучал научные работы и достижения известных ученых по оптимизации режимов ЭЭС.

В 1995 году Рашид Абдурахманович был избран заведующим кафедры «Электрические станции», и возглавлял кафедру до 2001 года, когда стал заведующим Учебно-методическим объединением Ташкентского государственного технического университета, и занимался разработкой учебных планов бакалавров и магистров. В этот период в сфере высшего образования Узбекистана происходили кардинальные изменения – осуществлялся переход к Болонской системе высшего образования: подготовке бакалавров и магистров. Период был достаточно напряжённым, требовал согласования учебных планов 43 направлений образования бакалавриата и 65 специальностей магистратуры со всеми кафедрами ТашГТУ, другими техническими вузами, министерствами, ведомствами, крупными предприятиями. ТашГТУ был головным вузом по разработке новых учебных планов технических направлений образования бакалавриата и специальностей магистратуры в республике; тогда же при его участии создавались Государственные образовательные стандарты (ГОСы) и типовые учебные планы и программы бакалавров и магистров высшего технического образования страны.

За период работы в ТашПИ – ТашГТУ Рашид Абдурахманович участвовал

и участвует в обучении множества студентов, и непосредственно подготовил несколько сотен специалистов - энергетиков для Республики Узбекистан.

В 1997-2014 гг. Сытдыков Р.А. был в рядах исполнителей нескольких международных программ, в том числе TACIS-Tempus, которые касались введения новшеств в Высшую образовательную школу Узбекистана, внедрения методов повышения энергоэффективности и энергоменеджмента на предприятиях страны (в том числе энергетического аудита). За время выполнения этих проектов и позже, он с целью стажировки, постановки новых курсов и обмена опытом много раз посещал университеты и научные энергетические центры Греции, Германии, Южной Кореи, Словакии, Украины, России и других стран.

Р.А. Сытдыков в 1998 – 2017 гг. активно участвовал в проведении энергетических обследований (энергоаудитов) многих крупных предприятий республики – ТашТЭС, ТашТЭЦ, Чарвакской ГЭС, ГМЗ-2 Навоийского ГМК (Заравшан), Таштекстилькомбината, Ташмасложиркомбината и других.

После защиты диссертации к.т.н., Рашид Абдурахманович продолжал заниматься научными исследованиями по моделированию и оптимизации режимов энергетических объектов, повышению их энергоэффективности. После анализа результатов исследований, поездок и стажировок в университетах, центрах и предприятиях он, при научной консультации академика Насирова Т.Х., завершил и защитил в 2012 году диссертацию доктора технических наук по теме: «Многокритериальная оптимизация режимов электростанций и энергосистем», результаты которой были внедрены в Координационном диспетчерском центре «Энергия», на Ташкентской ТЭС, Каскаде Урта-Чирчикских ГЭС.

Развиваемая д.т.н. Р.А. Сытдыковым тематика многокритериального подхода к оптимизации режимов энергетических объектов остаётся актуальной и для Узбекистана, так как все проблемы, связанные с повышением энергоэффективности, цифровизацией, интеллектуализацией, диверсификацией энергетики, внедрением ВИЭ, являются многофакторными, многокритериальными. Их необходимо решать на основе системных методов многокритериальной оптимизации, с использованием соответствующего математического аппарата.

Им опубликовано более 230 работ, из них 12 монографий, 2 авторских свидетельства.

Среди его учеников: Жалилов Р.Б. – д.т.н., зав. кафедры «Энергетика» Бухарского инженерно-технологического института, Эгамназаров Г.А. – PhD, готовятся к защите PhD: Мандалака М.Д., Сиддигов Х.З., Полвонов О.Х.

За заслуги перед отечеством Р.А. Сытдыков награжден медалью, а за достижения в науке и деле подготовки кадров отмечен Почетными грамотами Минвуза, Минэнерго РУз, а также множеством грамот, благодарственных писем, дипломов ТашГТУ и многих организаций; в 2012 ему присвоено звание «Почетный энергетик Республики Узбекистан».

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Он является членом Научного совета по защите докторских диссертаций при ТашГТУ, заместителем Главного редактора научного журнала “Проблемы энерго- и ресурсосбережения”, членом редколлегии научного журнала “Research Focus“, постоянным членом Оргкомитета Международных симпозиумов “Электроэнергетика” в ТУ г. Кошице (Словакия) и др.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы» ТашГТУ Рашид Абдурахманович Сытдыков является видным представителем и продолжателем научно-педагогической школы, созданной знаменитым учёным, академиком Фазыловым Х.Ф., яркими представителями которой являются академики Аллаев К.Р., Насиров Т.Х., профессора Гайибов Т.Ш., Мирзабаев А.М., Хамидов Ш.В., Худаяров М.Б., доценты Салиев А.Г., Шарипов У.Б., Шамсиев Х.А., Садуллаев Э.Ф., Мирзаев А.Т., Радионова О.В., Латипов Ш.Ш., Пулатов Б.М., Махмудов Т.Ф., Шамсутдинов Х.Ф., Нурматов О.Ё., Мирзабеков Ш.М. и многие другие.

**Рашид Абдурахманович Сытдыков продолжает активно и плодотворно работать в сфере энергетической науки и образования республики.
Пожелаем ему дальнейших творческих успехов!**

Коллеги и ученики

ИСПОЛЬЗУЙТЕ БЕЗУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



БЕРЕГИТЕ ПРИРОДУ



Индекс 1070

БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

**ГОДОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

