



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

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 4

2022

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

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

Ш.М.Мирзиёев

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

Sh.Mirziyoyev



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

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

ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ

Журнал 2002 йилда
ташkil қилинган

Йилига 4 марта
чоп этилади

2022 й.

№4

ТОШКЕНТ - 2022

ТАҲРИР КЕНГАШИ АЪЗОЛАРИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ АЪЗОЛАРИ:

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

т.ф.д., проф. Т.Ш. Гайибов
т.ф.д., проф. А.Д. Гаслимов
т.ф.д., проф. М.К. Бобожанов
т.ф.д., проф. М.И. Ибадуллаев

т.ф.д., проф. А.Н. Назарычев (Россия)
т.ф.д., проф. М.Ш. Мисриханов (Россия)
т.ф.д., проф. М. Колцун (Словакия)
проф. Christian Kreischer (Германия)

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

т.ф.д., проф. Р.П. Бобоҳаджаев
т.ф.д., проф. Ё.С. Аббосов
т.ф.д., проф. И.И. Садыков
PhD, доц. Ш.Ш. Абдумаликов

ҚР МФА акад. Б.К. Алияров (Қозоғистон)
ҚР МФА акад. С.А. Кешуов (Қозоғистон)
т.ф.д., проф. Ж.С. Абдимуратов (Қозоғистон)
БелР МФА акад. А.А. Михалевич (Белорусия)

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

т.ф.д., проф. Ф.А. Хошимов
т.ф.д., проф. О.Х. Ишназаров
т.ф.д., проф. Н.Б. Пирматов
т.ф.д., проф. Х.М. Мурагов

т.ф.д., проф. Н.Ш. Чемборисова (Россия)
т.ф.д., проф. Н.Л. Новиков (Россия)
проф. Ekkehard Volte (Германия)
проф. Wilfrid Hofmann (Германия)

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

т.ф.д., проф. Г.Н. Узаков
т.ф.д., проф. Н.Р. Авезова
т.ф.д., проф. А.М. Мирзабаев
т.ф.д., доц. И.А. Юлдошев

PhD, проф. Kyubock Lee (Жанубий Корея)
т.ф.д., проф. Ж.О. Титова (Россия)
PhD, проф. Rhee Young Woo (Жанубий Корея)
проф. Peter Schegner (Германия)

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

т.ф.д., проф. Н.С. Махмудов
т.ф.д., проф. У.С. Назаров
т.ф.д., проф. Ф.Я. Умаров
к.т.н., доц. И.Х. Халисмагов

т.ф.д., проф. А.Ф. Максименко (Россия)
т.ф.д., проф. Ф.Г. Жағфаров (Россия)
т.ф.д., проф. И.Г. Кантаржи (Россия)
PhD, доц. А.С. Кулиев (Россия)

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

т.ф.д., проф. М.М. Мухаммадиев
т.ф.д., проф. Б.М. Турсунов
т.ф.д., проф. О.Я. Гловацкий
т.ф.д., проф. Б.У. Уришев

PhD, проф. Lee Young-Seak (Жанубий Корея)
т.ф.д., проф. Д.С. Ахметбаев (Қозоғистон)
т.ф.д., проф. В.А. Хохлов (Россия)
PhD, проф. Namgee Jung (Жанубий Корея)

Техник муҳаррир: доц. Ниёзов Н.Н.

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

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

МУНДАРИЖА

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

К.Р. Аллаев. Бирламчи энергия ташувчиларнинг ривожланиши ва уларнинг атроф муҳитга таъсири.	14
Р.А. Ситдиков; О.В. Радионова, О.Х. Полвонов, Х.З. Сиддиқов. Тақсимланган электр тармоқларини бошқариш тузилишига вазиятли ёндашиш.	29
А.Д. Таслимов, А.Н. Султанов. 0,38–10 кВ электр тармоқларда электр энергиясининг норматив исрофларини ҳисоблаш.	35
Т.Ш. Гайиқов, Б.Х. Муродов. Истемолчиларнинг суткалик юклама графикларини иссиқлик ва фотоэлектр станциялари ёрдамида қоплашга доир.	41
Б. Абдуллаев, М.У. Идрисходжаева, Х.Э. Холбутаева. Манба қурилмаларининг хатоликларини аниқлаш услубияти.	51
Х.А. Шамсиев, А.Т. Мирзаев. Энергия сақлаш тизимларининг энерготизим бошқарувчанлигини ошириш учун қўлланилиши.	56
Б.А. Абдуллаев, А.И. Раҳматуллаев. Магнит-транзисторли элементларидан иборат ўзгармас кучланишни параметрик стабилизаторларининг статик иш режимида оид баъзи масалалар.	65
К.Г. Абидов, А.А. Пулатов. Чизиқли графиклар назарияси асосида индукцион печларида металл эритиш жараёнининг математик моделини яратиш.	71
Я.Т. Адълов, А.К. Нуралиев. Ўзбекистон Республикаси суғориш тизимлари магистрал насос станциялари учун релели химоя ва бошқариш тизимларининг таъсирларга турғунлигини ошириш.	79
И.Х. Холиддинов, М.М. Холиддинова. Электр энергия сифатига истеъмолчиларни таъсирини баҳолаш усуллари.	91
ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ	
Д.Н. Муҳиддинов Ш.С. Санаев. Вентиляторли градирья насадка қисмини MATLAB дастурида таҳлил қилиш.	98
Б.С. Хуррамов, Р.А. Заҳидов, Ж.А. Нормуминов. Иссиқлик марказларидаги KVGМ - 100-150 иссиқ сув қазонида ёқилғи ва ҳаво таъминотини жадаллаштириш ҳисобига энергия самарадорлигини ошириш.	103
Х.С. Исаходжаев, Ф.Ш. Умарджанова, Л.О. Алимова. Ҳавони мўътадиллаш тизимларида комбинациялашган типдаги буглатиб совитгичлар.	109
Ш.С. Мавжудова, А.Г. Хазратов, Ж.Ю. Усмонов. Регенератив айланувчи ҳаво қиздиргичнинг ҳарорат майдонини ҳисоблаш.	117
Я.Д. Муҳиддинова. Градирьяларда гидродинамика ва иссиқлик-масса узатиш жараёнларини моделлаштириш.	125
М.М. Азимова, Н.М. Қурбанова. Иссиқлик таъминоти қурилмаларида кислород ҳамда карбонат ангидрид газлари таърисида занглаш ва чўқинди ҳосил бўлиши.	134
ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ	
К.Г. Абидов, Н.Б. Хамудханова, М.О. Гафурова. Сув кўриш насос агрегатларини конструктив параметрларини ўзгартириш, энергияни тежашга ва ишлаш кўрсаткичлари яхшилашга таъсирини кўриб чиқиш.	139
Э.Г. Усманов, И.У. Раҳмонов. Узлуксиз ишлаб чиқариш харктеридаги саноат корхоналарида кучланишни ростилаш ҳисобига электр энергияси сифатини яхшилаш усули.	147
К.Т. Тергемес, Ж.С. Шыныбай, А.Н. Бестерекова. MATLAB ёрдамида энергия ва ресурсларни тежайдиган кўп моторли электр юритмани текшириш.	152
М.Қ. Бобожанов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тўйчиев, Ҳ.Ғ. Мағдиев. Вентиляция тизимларидаги асинхрон моторларга қутблар сони ўзгарувчан чулғамни тадбиқ қилиш. .	158
М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров. Тақсимловчи тармоқларида электр энергиясининг техник йўқотишларини сунъий нейрон тармоқлари асосида баҳолаш.	165

Н.Н. Ниёзов. Аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усули ёрдамида электр энергия истеъмоли прогнозлаш моделини ишлаб чиқиш.	171
М.Қ. Бобожанов, Ф.Н. Тўйчиев, Н.Х. Рашидов. Конвейер юритмаси учун уч фазали кутблар сони ўзгарувчан чулғамли асинхрон машиналар.	180
Н.Б. Пирматов, Ш.А. Яхяева. 35 кВ ли тикилган полиэтилен изоляцияли ва шимдирилган гоғоз изоляцияли кабелларнинг солиштирма таҳлили.	188
Х.З. Назирова. Энергетикада прогнозлаш усуллари таҳлили.	193
МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ	
Н.Р. Авезова, А.У. Камолитдинов. Йирик ШЭС ларни модернизация қилиш, хизмат муддатини узайтириш ва фойдаланишдан чиқариш масалалари ҳақида.	203
И.А. Юлдошев, М.Ю. Гасанов, Д.С. Гафуров, Т.Р. Джамалов, Ж.Ч. Эшанкулов. Марков занжири, яъни ўтиш матрицалари ёрдамида шамол тезлигини башорат қилиш усули орқали ҳосил қилинган шамол тезлигининг шамол генераторининг қувват кўрсаткичларига таъсири.	211
Э.Б. Саитов, У.М. Ахмедов, З.Ф. Юлдошалиев, И.О. Абдусайдов, И.И. Шарипов, А.А. Хурсандов. Наноструктурали фотоэлектрик модулларнинг электрофизик параметрларини тадқиқ этиш.	219
Н.Р. Авезова, Э.Ю. Рахимов, А.У. Вохидов, Н.Н. Далмурадова. Ўзбекистон Республикаси иссиқлик таъминоти соҳасини қуёш технологияларини жорий этиш орқали модернизация қилиш йўлида.	226
Р.Х. Рахимов, М.Р. Рахимов. Бирламчи нурланиш энергиясининг керамик ўзгарткичлари.	238
Н.А. Мурзакулов, Э.Б. Саитов, Ж.Б. Тошов. Наноструктурали кристалл-кремнийли қуёш элементларини тадқиқ этиш; тараққиёт, муаммолар ва келажак истиқболлари.	246
М.Н. Турсунов, Х. Сабиров, У.Р. Холов, С.Қ. Шоғўчқоров. Фотоэлектрик ва фотоиссиқлик батареяларини техник-иқтисодий кўрсаткичларини баҳолаш.	253
И.А. Юлдошев, С.К. Шогучкаров, Ш.Ш. Рустамова, Б.М. Ботиров, Ф.Ш. Тураев Паст кучланишли электр тармоғига уланган кам қувватли фотоэлектр станция параметрларига ифлосланишнинг таъсири.	259
К.А. Тохтахунов, Д.М. Пулатова, Н.Р. Умирова, Ф.Д. Кушшаева. Гелиоқурилмалар элементларида иссиқлик алмашинувини ҳисоблаш.	270
А.А. Бокиев, А.Р. Саринсахходжаев, А.Н. Ботиров. Қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги мобил электрстанцияси ва кўп функцияли электр трактор.	278
КАДРЛАРНИ ТАЙЁРЛАШ МЕТОДИКАСИ ВА МУАММОЛАРИ	
И.У. Раҳмонов, А.К. Бижанов. Таълим жараёнига ўқув симуляторларини тадбиқ этишнинг аҳамияти ва зарурати.	284
Л.А. Нематов. Техника олий таълим муассасаларида «Электротехника ва электроника» фанини ўқитишни такомиллаштириш йўналишлари.	291
Д.Х. Халманов. Олий таълим муассасаларида назарий электротехника фанини ўқитишнинг замонавий муаммолари ва инновацион усуллари	297

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

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

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Журнал основан
в 2002 году

Издаётся 4 раза
в год

2022 г.

№ 4

ТАШКЕНТ - 2022

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

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

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

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

Технический редактор: доц. Ниёзов Н.Н.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К.Р. Аллаев. Развитие первичных энергоносителей и их влияние на окружающую среду	14
Р.А. Ситдиқов; О.В. Радионова, О.Х. Полвонов, Х.З. Сиддиқов. Ситуативный подход к структуре управления распределёнными электротрическими сетями.	29
А.Д. Таслимов, А.Н. Султанов. Расчет нормативных потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38–10 кВ.	35
Т.Ш. Гайилов, Б.Х. Муродов. К оптимальному покрытию суточного графика нагрузки потребителей тепловой и солнечной фотоэлектрической станциями.	41
Б. Абдуллаев, М.У. Идрисходжаева, Х.Э. Холбутаева. Методика определения источников погрешностей устройств.	51
Х.А. Шамсиев, А.Т. Мирзаев. Применение систем хранения энергии для повышения управляемости энергосистем.	56
Б.А. Абдуллаев, А.И. Рахматуллаев. Некоторые особенности работы параметрических стабилизаторов постоянного напряжения на основе базового магнитно-транзисторного элемента.	65
К.Г. Абидов, А.А. Пулатов. Создание математической модели процесса выплавки металла в индукционных печах на основе теории линейных графов.	71
Я.Т. Адылов, А.К. Нуралиев. Повышение помехоустойчивости систем релейной защиты и управления для магистральных насосных станций оросительных систем Республики Узбекистан.	79
И.Х. Холиддинов, М.М. Холиддинова. Методы оценки влияния потребителей на качество электроэнергии.	91

2 ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Д.Н. Мухиддинов, Ш.С. Санаев. Вентиляторли градирия насадка қисмини MATLAB дастурида тахлил қилиш.	98
Б.С. Хуррамов, Р.А. Захидов, Ж.А. Нормуминов. Повышение энергоэффективности водяного котла КВГМ-100-150 В ТЦ за счет ускорения подачи топлива и воздуха.	103
Х.С. Исаходжаев, Ф.Ш. Умарджанова, Л.О. Алимова. Испарительные охладители комбинированного типа для систем кондиционирования воздуха.	109
Ш.С. Мавжудова, А.Г. Хазратов, Ж.Ю. Усмонов. Расчет температурных полей регенеративного вращающегося воздухоподогревателя.	117
Я.Д. Мухиддинова. Моделирование процессов гидродинамики и тепло-массообмена в градирнях.	125
М.М. Азимова, Н.М. Курбанова. Образование в установках теплоснабжения каррзии и накипи при взаимодействии кислорода и углекислого газа.	134

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

К.Г. Абидов, Н.Б. Хамудханова, М.О. Гафурова. Исследование влияния конструктивных параметров на энергосберегающие и эксплуатационные показатели работы водоподъемных насосных агрегатов.	139
Э.Г. Усманов, И.У. Рахмонов. Улучшение качества электрической энергии на предприятиях с непрерывным характером производства за счет регулирования напряжения.	147
К.Т. Тергемес, Ж.С. Шыныбай, А.Н. Бестерекова. Исследование энерго и ресурсосберегающего многодвигательного электропривода с помощью MATLAB	152
М.Қ. Бобожанов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тўйчиев, Ҳ.Ғ. Мағдиев. Применение полусоперключаемых обмоток в асинхронных двигателях систем вентиляции.	158
М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров. Оценка технических потерь электроэнергии в совокупности распределительных сетях на основе искусственных нейронных сетей.	165
Н.Н. Ниёзов. Разработка модели прогнозирования потребления электроэнергии с использованием метода группового учета аргументов.	171

М.К. Бобожанов, Ф.Н. Тўйчиев, Н.Х. Рашидов. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка для асинхронных машин на приводе конвейеров.	180
Н.Б. Пирматов. Ш.А. Яхяева. Сравнительный анализ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией в 35 кВ.	188
Х.З. Назирова. Методы прогнозирования в энергетике.	193
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	
Н.Р. Авезова, А.У. Камолитдинов. К вопросу о модернизации, продлении срока службы и вывод окончания из эксплуатации крупных вэс после срока их службы.	203
И.А. Юлдошев, М.Ю. Гасанов, Д.С. Гафуров, Т.Р. Джамалов, Ж.Ч. Эшанкулов. Влияние на мощностные показатели генератора скорости ветра образованной по прогнозу скорости ветра с использованием переходных матриц цепи маркова.	211
Э.Б. Саитов, У.М. Ахмедов, З.Ф. Юлдошалиев, И.О. Абдусайидов, И.И. Шарипов, А.А. Хурсанов. Исследование электрофизических параметров наноструктурированных фотоэлектрических модулей.	219
Н.Р. Авезова, Э.Ю. Рахимов, А.У. Вохидов, Н.Н. Далмурадова. Модернизации сектора теплоснабжения республики узбекистан с внедрением солнечных технологий. . .	226
Р.Х. Рахимов, М.Р. Рахимов. Керамические преобразователи энергии первичного излучения.	238
Н.А. Мурзакулов, Э.Б. Саитов, Ж.Б. Тошов. Исследование наноструктурированных солнечных элементов из кристаллического кремния; прогресс, вызовы и перспективы на будущее.	246
М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, У.Р. Холов, С.Қ. Шоқўқоров. Оценка технико-экономических показателей фотоэлектрических и фототепловых батарей.	253
И.А. Юлдошев, С.К. Шоқўқоров, Ш.Ш. Рустамова, Б.М. Ботиров, Ф.Ш. Тураев. Влияние загрязненности на параметры маломощной фотоэлектрической станции, подключенной к низковольтной электрической сети.	259
К.А. Тохтахунов, Д.М. Пулатова, Н.Р. Умирова, Ф.Д. Кушшаева. Расчет теплообмена в элементах гелиоустановок.	270
А.А. Бокиев, А.Р. Саринсакходжаев, А.Н. Ботиров. Мобильная электростанция и многофункциональный электрический трактор на основе ВИЭ.	278
ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ	
И.У. Рахмонов, А.К. Бижанов. Актуальность и необходимость внедрения обучающих симуляторов в образовательный процесс.	284
Л.А. Нематов. Направления усовершенствования методики преподавания предмета “Электротехника и электроника” в технических высших учебных заведениях.	291
Д.Х. Халманов. Современные проблемы и инновационные методы преподавания дисциплины теоретические электротехники в высших учебных заведениях.	297

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

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

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

**ASSOCIATION OF ALTERNATIVE FUEL AND ENERGY
ENTERPRISES**

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

PROBLEMS OF ENERGY AND SOURCES SAVING

The magazine founded
in 2002

Printed 4 times
a year

2022 y. _____ №4

TASHKENT - 2022

EDITORIAL COUNCIL

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

EDITORIAL TEAM

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL COLLEGE:

ELECTRIC POWER

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

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

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

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

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

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

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

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

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

ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS

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

Technical Editor: docent. Niyozov N.N.

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

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

CONTENTS

ELECTRIC POWER

K.R. Allaev. Development of primary energy carriers and their impact on the environment. . . .	14
R.A. Sitdikov, O.V. Radionova, O.X. Polvonov, X.Z. Siddikov. Situational approach to structure of distributed electric networks management.	29
A.D. Taslimov, A.N. Sultanov. Calculation of normative losses of electricity in electric networks 0,38–10 kV	35
T.Sh. Gayibov, B.Kh. Murodov. To optimal cover of daily load schedule of consumers by thermal and photovoltaic power plants.	41
B. Abdullaev, Kh.E. Kholbutaeva, M.U. Idriskhodjaeva. Method for determining errors of source devices.	51
HA. Shamsiev, A.T. Mirzaev. Application of energy storage systems to increase the power system controllability.	56
B.A. Abdullaev, A.I. Rakhmatullaev. Some aspects of the operation of parametric dc voltage stabilizers based on a basic magnetic transistor element.	65
K.G. Abidov, A.A. Pulatov. Creation of a mathematical model of the metal smelting process in induction furnaces based on the theory of linear graphs.	71
Y.T. Adilov and A.K. Nuraliyev. Improving the noise immunity of relay protection and control systems for the main pumping stations of irrigation systems Republic of Uzbekistan. . .	79
I.X. Kholiddinov, M.M. Kholiddinov, Methods for assessing the impact of consumers on the quality of electricity.	91

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

D.N. Mukhiddinov Sh.S. Sanaev. Analysis of the packing part of a cooling tower with a fan in the MATLAB program.	98
B.S. Xurramov, R.A. Zaxidov, J.A. Normuminov. Increasing energy efficiency due to accelerated fuel and air supply in the KVGM-100-150 water boiler in the TC.	103
H.S. Isakhodzhaev, F.Sh. Umardzhanova, L.O. Alimov. Evaporative coolers of combined type in air conditioning systems.	109
Sh.S. Mavzhudova, A.G. Khazratov, Zh.Yu. Usmonov. Calculation of the temperature fields of a regenerative rotating air heater.	117
Ya.D. Mukhiddinova. Modeling of hydrodynamics and heat-mass transfer processes in cooling towers.	125
M.M. Azimova, N.M. Kurbanova. Formation of corrosion and scale in the equipment heat supply during the interaction of oxygen and carbon dioxide.	134

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

K.G. Abidov, N.B. Khamudkhanova, M.O. Gafurova. Study of the influence of design parameters on energy-saving and performance indicators of water-lift pumping units.	139
E.G. Usmanov, I.U. Rakhmonov. Improving the quality of electric energy at enterprises with a continuous production by voltage regulation.	147
K.T. Tergemes, J.S. Shynybai, A.N. Besterekova. The study of energy and resource-saving multi-motor electric drive using MATLAB.	152
M.K. Bobojanov, D.A. Rismukhamedov, F.N. Tuychiev, H.G. Magdiev. Application of pole-changing winding on asynchronous motors in ventilation systems.	158
M.B. Khudayarov, B.S. Bobonazarov. Evaluation of technical losses of electricity in a set of distribution networks based on artificial neural networks.	165
N.N. Niyazov. Development of an electricity consumption forecasting model using the method of group accounting of arguments.	171
M.K. Bobojanov, F.N. Tuychiev, N.Kh. Rashidov. Three-phase pole changing winding for asynchronous machines driven on conveyors.	180
N.B. Pirmatov, Sh.A. Yaxyayeva. Comparative analysis of cables with xlpe insulation and cables with paper-impregnated insulation in 35kV.	188
X.Z. Nazirova. Forecasting methods in the energy sector.	193

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

N.R. Avezova, A.U. Kamoliddinov. To the question of modernization, extension of service life and decommissioning of large WF after their service life.	203
I.A. Yuldoshev, M.Y. Hasanov, D.S. Gafurov, T.R. Jamolov, J.CH. Eshonqulov. Influence on the power indicators of the wind speed generator formed according to the wind speed forecast using transition matrices of the markov chain.	211
E.B. Saitov, U.M. Axmedov, Z.F. Yuldoshaliyev, I.O. Abdusaidov, I.I. Sharipov, A.A. Xursandov. Research of electrophysical parameters of nanostructured photoelectric modules	219
N.R. Avezova, E.Y. Rakhimov, A.U. Vokhidov, N.N. Dalmuradova. On the way of modernization of the heat supply sector of the Republic Uzbekistan with the introduction of solar technologies.	226
R.Kh. Rakhimov, M.R. Rakhimov. Ceramic primary irradiation energy converters	238
N.A. Murzakulov, E.B. Saitov, J.B. Toshov. Study of nanostructured solar cells made of crystalline silicon; progress, challenges and future prospects.	246
M.N. Tursunov, Kh. Sabirov, I.A. Yuldoshev, U.R. Kholov, S.K. Shoguchkorov. Assessment of technical and economic indicators of photovoltaic and photo thermal batteries	253
I.A. Yuldoshev, S.K. Shoguchkarov, Sh.Sh. Rustamova, B.M. Botirov. The effect of contamination on the parameters of a low-power photovoltaic plant connected to a low-voltage power grid.	259
K.A. Tokhtakhunov, D.M. Pulatova, N.R. Umirova, F.D. Kushshaeva. Calculation of heat transfer in the elements of solar plant.	270
A.A. Bokiev, A.R. Sarinsakhodzhaev, A.N. Botirov. Mobile power plant and multifunctional renewable electric tractor based on RES.	278
PROBLEMS AND METHODOLOGIES OF STAFF TRAINING	
I.U. Raxmonov, A.K. Bijanov. Importance and necessity of implementing simulators into educational proces.	284
LA. Nematov. Directions of improvement of the methodology of teaching the subject "Electrical engineering and electronics" in technical higher educational institutions.	291
D.X. Xalmanov. Modern problems and innovative methods of teaching theoretical electrical engineering in higher educational institutions.	297

УДК 620.9

**РАЗВИТИЕ ПЕРВИЧНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ****К.Р. Аллаев**

Мақолада жаҳон энергетикасининг ривожланиши давомида бир қанча манбалардан фойдаланилганлиги кўрсатилган: бу манбалар кўмир, нефть, атом энергияси ва табиий газлардан ташкил топган. Келгуси ўттиз йилликда углеводородлар асосий энергетика манбалари бўлиб қолади. Аммо уларнинг умумий ҳажми жаҳон энергетикасида 85% дан (2016) 74% га (2040) камайиши кўрсатилган. Бу давр ичида қайта тикланувчи энергия (ҚТЭ) манбалари ва атом энергетикаси ривожланиши белгиланган. Ривожланиши жаҳон бўйича йилига углеводородлар 0,7% ва ҚТЭлар 2,1%ни ташкил қилиши башиоратланган. Қайта тикланувчи энергия манбалари электр энергиясини ишлаб чиқаришида узоқ муддатга эга бўлган манбалиги кўрсатилган. Атом энергияси электр энергиясини ишлаб чиқариши билан биргаликда экология масалаларини ечишида асосий восита бўлиши тақидланган. Буни амалга ошириши учун атом асосида электр энергиясини ишлаб чиқаришида янги технологияларга асосланиб, радиоактив манбалардан тўлиқ фойдаланиши ва ишлатилган ядро материалларни қайта ишлатиши масалаларини ечимини топиши зарур бўлади. Барча энергия манбалари узоқ давом қиладиган ишлатиши жараёнида ташқи муҳитга салбий таъсир кўрсатади. Аммо бу таъсир хар хил бўлади ва уни камайтириши қўлланилаётган технологияга боғлиқ. Шунинг учун энергетика тизимида ишлатиладиган манбаларнинг ташқи муҳитга таъсирини узоқ йиллар давомидаги таъсирини ўрганиши натижасида ҳаётга тадбиқ қилиши мақсадга мувофиқ бўлади.

В статье показано, что мировая энергетическая система прошла в своем развитии различные эпохи: угля, нефти, атомной энергии и газа. Ближайшие три десятилетия углеводороды остаются основным источником энергии с долей 74% в 2040 году, со снижением на 11% по сравнению с 2016 годом. За этот период в энергобалансе мира доля возобновляемых источников энергии, а также ядерной энергии увеличится. Ожидается, что не ископаемое топливо будет развиваться с приростом 2,1% в год, в то время как ископаемое топливо будет расти в среднем на 0,7% в год. Возобновляемые источники энергии призваны играть более долгосрочную роль в производстве электроэнергии. Атомная энергия в производстве электроэнергии должна рассматриваться главным образом как средство достижения целей в области климата, что является определяющим фактором. Отмечается, что атомная энергия может стать доминирующим источником при условии разработки технологий, позволяющих использовать радиоактивные материалы, широко распространенные в природе и отработанное ядерное топливо. Показано, что все без исключения технологии производства электроэнергии оказывают воздействие на окружающую среду в течение своего жизненного цикла, и эти воздействия могут в разной степени варьироваться.

Надлежащая энергетическая политика должна основываться на оценках жизненного цикла и учитывать воздействие на окружающую среду всех технологий производства электроэнергии.

The article shows that the world energy system has gone through different eras in its development: coal, oil, atomic energy and gas. Hydrocarbons remain the main source of energy for the next three decades, with a share of 74% in 2040, down 11% from 2016. During this period, the share of renewable energy sources, as well as nuclear energy, will increase in the energy balance of the world. Non-fossil fuels are expected to grow at a rate of 2.1% per year, while fossil fuels are expected to grow at an average of 0.7% per year. Renewable energy sources are meant to play a longer-term role in electricity generation. Nuclear energy in electricity generation should be considered primarily as a means to achieve climate goals, which is a determining factor. It is noted that nuclear energy can become the dominant energy carrier, provided that technologies are developed that allow the use of radioactive materials widely distributed in nature and spent nuclear fuel. It is shown that without exception, all technologies for the production of electricity have an impact on the environment during their life cycle, and these impacts can vary to varying degrees. A good energy policy should be based on life cycle assessments and take into account the environmental impact of all electricity generation technologies in the energy system.

Мировое энергетическое сообщество признает проблемы, связанные с изменением климата и согласно с необходимостью сокращения выбросов CO₂ посредством энергетического перехода [1]. Большое число стран поддерживают «Парижское соглашение» и в мире предпринимаются меры по удержанию повышения средней температуры окружающей среды на уровне ниже 1,5⁰C. (Напомним, что при сжигании одной тонны нефтепродуктов в атмосферу выбрасывается 2,8 т CO₂, а при сжигании газа – 1,6 т CO₂ [2]).

Ближайшие три десятилетия углеводороды остаются основным источником энергии. Возобновляемые источники энергии призваны играть более долгосрочную роль в производстве электроэнергии в результате государственной поддержки и снижения удельных затрат, особенно на ветряную и солнечную энергию. Факторами, сдерживающими развитие ВИЭ, являются, с одной стороны, экономические и технические, а также природные [1].

Атомная энергия в производстве электроэнергии должна рассматриваться, главным образом, как средство достижения целей в области климата, что является определяющим фактором. Атомная энергия может стать доминирующим энергоносителем при условии разработки технологий, позволяющих использовать радиоактивные материалы, широко распространенные в природе и отработанное ядерное топливо.

По прогнозам, спрос на ископаемое топливо на глобальном уровне сократится, а доля возобновляемых источников энергии, а также ядерной энергии увеличится. При этом ископаемое топливо останется доминирующим компонентом в мировом энергетическом балансе, с долей 74% в 2040 году, хотя и снизится на 11% пунктов по сравнению с 2016 годом [3]. Ожидается, что не ископаемое топливо будет развиваться со скоростью 2,1% в год, в то время как ископаемое топливо будет расти в среднем на 0,7% в год [4].

Прогнозируется, что мировой спрос на первичную энергию возрастет на 26%, с 14144 млн. т.н.э. в 2017 году до 17829 млн. т.н.э. к 2040 году [4].

Процессы электрификации экономики и глобальной цифровизации определяют необходимость создания пространственных энергоинформационных сетевых структур, включающих производителей, потребителей энергии, других субъектов хозяйственной деятельности.

В табл. 1 приведены данные по потреблению первичных энергоносителей в мире.

Таблица 1

Мировая потребность в первичной энергии по видам топлива [5]

Годы Энерго-носитель	2016		2040		2016-2040
	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	%
Нефть	4336	32,6	4836	26,9	11,5
Уголь	3732	28,2	3762	20,9	1,0
Газ	3204	24,2	4707	26,2	46,9
АЭС	592	4,4	912	5,1	54,1
ГЭС	910	6,8	1241	6,9	36,4
др. ВИЭ	502	3,8	2527	14,0	503,4
Мир	13276	100	17985	100	35,4

Рассмотрим перспективы развитие первичных энергоносителей в мире и их влияние на окружающую среду.

Нефть. Экономический рост является одним из основных факторов, определяющих спрос на энергию и, соответственно на нефть. Так, предполагается, что мировой ВВП с 2016 до 2040 года вырастет на 126% [6,7].

Нефть является одним из основных источников энергоносителей и за последние 100 с лишним лет неуклонно возрастала ее производство и потребление [1]. Но нефть, как энергоисточник постепенно утрачивает свою ведущую роль, уступая место электроэнергии, природному газу, возобновляемым видам энергии в виде солнца, ветра, биоорганики [7].

Ведущую роль в формировании мирового спроса на нефть играют промышленно развитые страны. В мире существует три доминирующих центра глобального потребления нефти: Северная Америка, прежде всего, Соединенные Штаты, Западная Европа и Азиатско-Тихоокеанский регион, в частности, Китай, Индия и Япония [8].

Ведущие промышленно развитые страны – США, ЕС и Япония – составляют 50 % глобального потребления нефти. В то же время азиатские страны, не входящие в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), особенно Китай, начинают играть все большую роль в формировании глобального спроса на нефть.

Последние годы характеризуются появлением значимых факторов, существенно влияющих на мировой рынок нефти-это разработка месторождений сланцевой нефти в США, ставшая возможной благодаря применению новых

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

технологий [9]. Поэтому в работах зарубежных авторов активно изучается влияние «сланцевой революции» на перспективы развития глобального рынка углеводородов [10,11], обосновывается необходимость разработки новых принципов, применения новых инструментов при анализе рынка нефти, поскольку рынок нефти существенно изменился в течение последних 10-15 лет.

По имеющимся оценкам, только общие запасы горючих сланцев в мире составляют порядка 650 трлн. т. [10,12]. Из них можно получить до 26 трлн. т. сланцевой нефти. Объем сланцевой нефти примерно в 13 раз больше, чем запасов традиционной нефти. При нынешнем уровне потребления этих энергоресурсов хватит более чем на 300 лет непрерывной добычи. На рис.1 приведен прогноз динамики потребления нефти в мире в XXI веке.

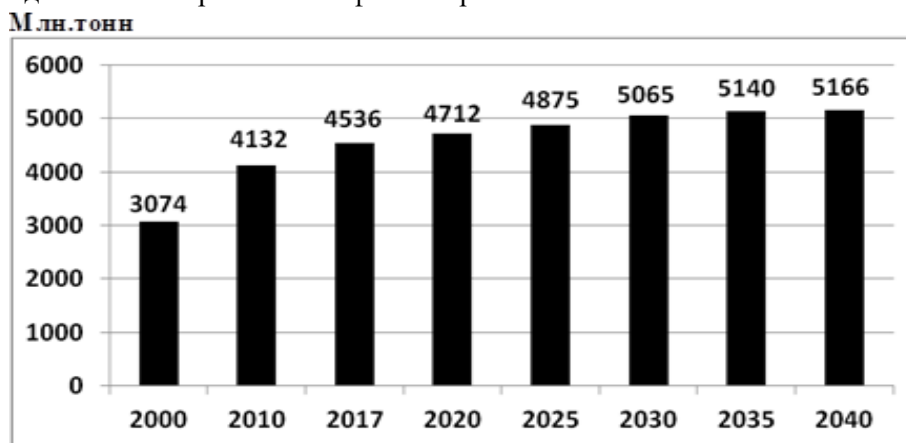


Рис. 1. Прогноз динамики потребления нефти в мире в XXI веке [13]

Производство основных нефтепродуктов в мире зависит от развития технологий переработки и в целом будет направлен на увеличение светлых нефтепродуктов (табл.2).

Таблица 2

Прогноз мирового спроса нефтепродуктов, 2013-2040 годы [1,15]
(млн. баррелей в день)

Нефтепродукт	Годы						
	2013	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Легкие продукты							
Этанол/сжиженный бензиновый газ	10,0	10,3	11,0	11,6	12,1	12,4	12,6
Нефтя	6,0	6,2	6,6	7,1	7,6	8,1	8,8
Бензин	23,0	23,6	24,6	25,4	25,9	26,3	26,7
Средние дисцилляты							
Авиационный керосин	6,6	6,8	7,3	7,8	8,2	8,7	9,2
Дизельное топливо	26,1	27,1	29,7	31,7	33,3	34,7	36,1
Тяжелые продукты							
Мазут	8,0	7,8	7,1	6,9	6,6	6,3	6,0
Прочие	40,1	40,1	40,6	40,9	11,2	11,5	11,8
Итого	90,0	92,3	96,9	101,3	104,8	108,0	111,1

Природный газ. Мировая энергетическая система прошла в своем развитии различие эпохи: угля, нефти, энергии атома и газа. Экологическая чистота, доступность по цене и высокая эффективность использования природного газа позволяют существенно изменить взгляд на его возможную роль в энергобалансе будущего мира и говорить о наступлении эпохи природного газа. Эпоха газа наступила в XXI столетии.

На рис. 2 приведена динамика мирового потребления природного газа.

Млрд м³

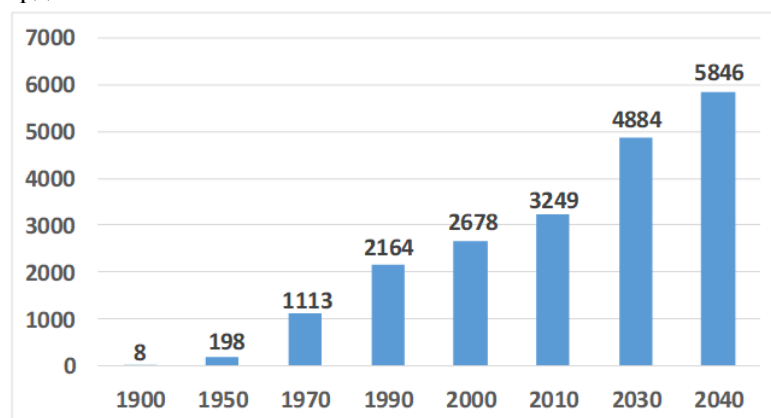


Рис 2. Динамика мирового потребления природного газа [1,17]

Природный газ — самый молодой по времени использования человечеством вид ископаемого топлива [16].

Ценность природного газа как топлива заключается в его высокой теплотворной способности (90% от нефтяной) и высокой экологичности. Природный газ удобен для применения в коммунально-бытовом хозяйстве, а также в качестве технологического топлива в различных промышленных отраслях.

Кроме того, природный газ — ценное сырье для химической индустрии, на его использовании основана современная промышленность азотных удобрений и производство широкого спектра продуктов органического синтеза, из которых затем получают пластмассы, химические волокна и т.д. [16]. Глубокая химическая переработка газа создает продукты с более высокой добавленной стоимостью, при этом цена готовых изделий из полимеров в 10 и более раз превышает стоимость газа [21].

Сжиженный природный газ (СПГ) - один из наиболее перспективных видов энергоносителей. По оценкам аналитиков будущее - за СПГ, сегодня это одно из наиболее активно развивающихся направлений в энергетике.

Ожидается, что общие инвестиции в СПГ и регазификацию к 2040 году составят 270 млрд. долларов [4].

За последнее десятилетие объем рынка сжиженного природного газа вырос более чем вдвое – до 250 миллионов тонн ежегодно [19].

В настоящее время в семерке крупнейших экспортеров СПГ в мире находятся Катар, Австралия, Малайзия, Нигерия, Индонезия, Алжир и Россия.

При производстве СПГ, основное внимание должно уделяться мероприятиям по подготовке газа к ожижению, т.е. по доведению природного газа до параметров, позволяющих конденсацией получить СПГ требуемого качества, при этом данная стадия составляет значительную часть капитальных вложений и эксплуатационных расходов завода по производству СПГ [18].

Добыча углеводородов из сланцевых месторождений имеет специфические особенности и требует применения современных технологий. В силу высокой плотности и прочности сланцев для высвобождения нефти, и газа из порового пространства практически единственным приемом является разрушение пласта с помощью гидравлического разрыва (ГРП). При этом низкая проницаемость и насыщенность пласта вынуждает разрушать пласт многократно [20].

Уголь. Уголь был первым из используемых человеком видов ископаемого топлива. Из 3,5 триллиона тонн органического топлива, которое можно извлечь из земных недр, 80% составляет уголь [22].

В 1960 году уголь давал около половины мирового энергобаланса, а в 2020 году его доля упала до 26,7%. Использование угля увеличивается в периоды высоких цен на нефть и другие энергоносители.

Основные объемы добычи угля сосредоточены в четырех регионах мира: развивающихся странах Азии (63%), Северной Америке (13%), СНГ (8%) и Азии ОЭСР (7%). Лидерами по мировой добыче угля (85%) являются шесть стран: Китай, США, Индонезия, Австралия, Индия и Россия [23].

В течение последнего десятилетия на рынке сохранялась тенденция к увеличению мирового производства и потребления угля вплоть до 2015 г. Начиная с 2015 г. наметился спад в мировом производстве и потреблении угля. Негативное влияние на рынок угля оказало падение цен на нефть, особенно на ту часть угольного рынка, который пересекается с нефтяным рынком, а именно на рынок энергетического угля, поскольку нефть и уголь, в известном смысле, взаимозаменяемы и торгуются на соответствующих мировых площадках.

На рис. 3 представлена динамика мирового потребления угля до 2050 года.

Млн. тонн

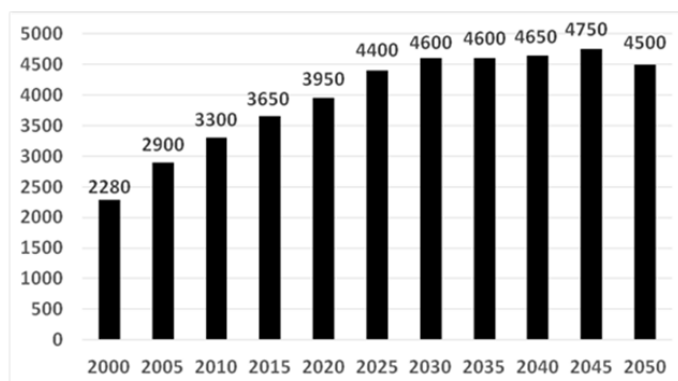


Рис. 3. Прогноз мирового потребления угля [24]

Атомная энергетика. Использование силы атомного ядра в мирных целях было одним из самых удивительных научных и технологических достижений 20 века [25]. В настоящее время отношение к атомной энергетике в мире неодно-

значно, что объясняется известными тяжелыми авариями на АЭС США в 1979 году, на Чернобыльской АЭС в 1986 году и на АЭС Фукусима в 2011 году [1].

Атомные технологии являются одним из высших достижений развития науки и инженерной мысли, их развитие гарантирует продолжение научно-технического прогресса. Атомные технологии служат драйвером развития материаловедения, строительства, ядерной медицины, аддитивных технологий, способны обеспечить развитие агропромышленности и др. [26].

Атомные реакторы, разработанные за всю историю атомной энергетики, принято относить к четырем поколениям [27].

К первому поколению относятся опытные образцы энергетических реакторов, на основе которых были построены и эксплуатировались некоторые АЭС (например, ВВЭР-440/230). Продолжительность работы АЭС первого поколения – (30–40) лет [27].

Ко второму поколению относят ядерные реакторы, созданные до конца 1990-х годов. Реакторы обладают улучшенной системой безопасности и могут работать до 60 лет [27].

На АЭС третьего поколения была улучшена топливная технология, повышена эффективность, что привело к снижению эксплуатационных расходов. В реакторы встроена пассивная система безопасности. Продолжительность работы реакторов третьего поколения — 80 лет [27].

Сейчас в мире разрабатываются ядерные реакторы четвертого поколения [27]. По состоянию на 01.12.2019 года в 39 странах действуют и строятся 453 ядерных реактора с общей мощностью более 397 ГВт (после восстановления отключенных реакторов), обеспечивающие около 11% выработки электроэнергии во всем мире.

Из них большинство установленных реакторов расположены в развитых странах Европы, Азии и Северной Америки, причем США и Франция имеют мощность около 100 ГВт и 63 ГВт, соответственно [28].

Больше всего действующих реакторов сосредоточено сегодня в Европейском союзе – 130 в 14 странах региона. А доля АЭС в общем энергобалансе Евросоюза сократилась с 30% в 1990 году до 26% в 2016-м [31].

Рабочие характеристики ядерных реакторов в мире значительно улучшились со временем. За последние 40 лет доля реакторов с высокими коэффициентами использования установленной мощности (КИУМ) значительно увеличилась. Например, в 2016 году 64% реакторов достигли КИУМ выше 80% по сравнению с 24% в 1976 году, тогда как только 8% реакторов имели КИУМ ниже 50% в 2016 году по сравнению с 22% в 1976 году [29].

В 15 из 39 стран, уже эксплуатирующих атомные электростанции (АЭС), сооружаются новые энергоблоки, либо активно завершается сооружение ранее приостановленных объектов, а в 16 странах имеются планы или предложения в отношении строительства новых реакторов [30].

На рис. 4 приведен прогноз установленной суммарной мощности АЭС мира и Китая.

В подготовленной Всемирной Ядерной Ассоциацией (ВЯА, World Nuclear Association-WNA) программе «Гармония» («Harmony») – концепции генерации электроэнергии в будущем – предусматривается, что в структуру энергопроиз-

водства будут входить самые разнообразные низкоуглеродные технологии, задействованные таким образом, чтобы преимущества каждой из них использовались в максимальной степени, а минусы, наоборот, сводилось к минимуму. При этом для реализации программы «Гармония» ВЯА установила следующий целевой показатель: к 2050 году 25% электроэнергии во всем мире должно вырабатываться на АЭС (в настоящее время примерно 11%), для чего с учетом таких факторов, как вывод из эксплуатации старых реакторов и рост спроса на электроэнергию, потребуется соорудить 32 новые АЭС совокупной мощностью приблизительно 1000 ГВт (эл.) [30].

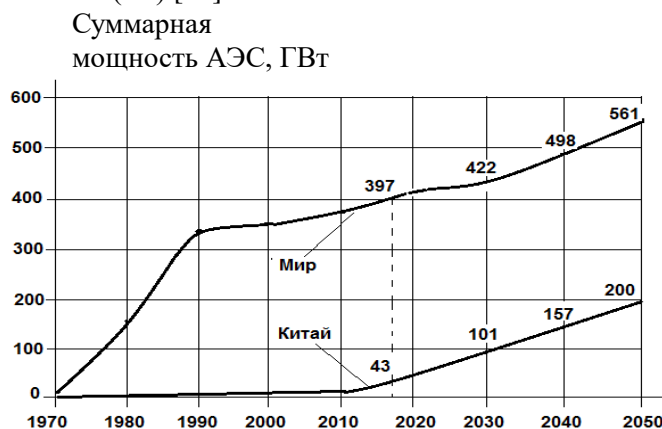


Рис. 4. Прогноз установленной суммарной мощности АЭС мира и Китая [32]

С инженерной точки зрения программа «Гармония» вполне реализуема. При этом рекомендуется внедрить в мире с 2021 по 2025 – по 25 ГВт в год, с 2025 по 2050 годы — по 31 ГВт ежегодно. В таком случае к 2050 году в строй встанут 1000 ГВт новых атомных мощностей. В этом и заключаются основные положения программы «Гармония». Это и обеспечит достижение главной цели Парижского соглашения: повышение глобальной температуры останется в пределах $1,5^{\circ}\text{C}$. Мало того – при этом будет решена и проблема обеспечения электроэнергией всех, у кого его сейчас просто нет, будет обеспечен и рост мировой экономики [26].

Руководство WNA считает, что если мировая атомная отрасль более 30 лет назад, т.е., в 1984 году, за один год смогла ввести в эксплуатацию атомных энергоблоков общей мощностью 31 ГВт [33], то предлагаемый темп строительства вполне достижимо и теперь. Базовое условие для реализации программы - парадигма безопасности, отступление от которой недопустимо ни при каких обстоятельствах [34].

В соответствии с действующими лицензиями и наблюдаемой практикой к 2040 году из эксплуатации будут выведены до 200 ГВт АЭС. Однако имеется возможность сократить эту убыль всего до 2,6 ГВт в случае, если будет найдена возможность продлить эксплуатацию всех существующих ныне реакторов до 80 лет [35]. Такую возможность предоставляет также реализация программы «Гармония».

Существующая ядерная энергетика - основанная на тепловых реакторах, не имеет долгосрочной перспективы по целому ряду причин [29]. WNA считает,

что строить необходимо только АЭС поколений III+ и IV, при этом к поколению IV ассоциация относит, в том числе реакторы на быстрых нейтронах, позволяющие на экономически целесообразной основе замкнуть ядерный топливный цикл, тем самым надолго решив проблему обеспечения ядерным топливом [36].

Возобновляемые источники энергии. В мире наблюдается процесс формирования новой технологической платформы развития глобальной энергетики, причем одной из важнейших черт этого процесса является изменение структуры балансов производства и потребления энергии за счет увеличения доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и атомной энергии. При этом энергетика мира находится на очередном этапе перехода в новое состояние.

В [38] отмечается, что 50-летний период доминирования ископаемого топлива в мировом энергетическом балансе подходит к концу: возобновляемые источники энергии и батареи стремительно дешевеют, что приведет к полному реформатированию рынка. Аналитики делают оптимистичный вывод о том, что к 2050 году доля энергии из солнца и ветра в общем мировом энергетическом балансе составит 50 %, а ископаемому топливу, ныне занимающему 63 %, будет отведено лишь 29 %.

На рис. 5 приведен прогноз роста установленных мощностей солнечной энергетики мира.

Млн. кВт

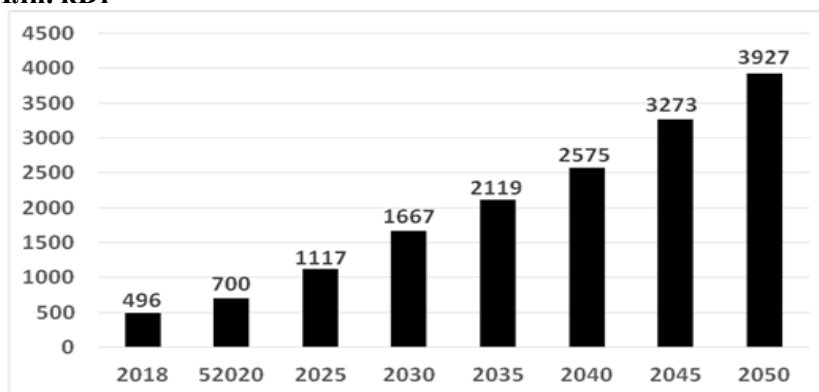


Рис. 5. Прогноз роста установленных мощностей солнечной энергетики мира [38]

Перспективы развития ветроэнергетики весьма внушительна: ожидается, что установленные мощности ВЭУ к 2050 году возрастут примерно в 10 раз, по сравнению с 2017 годом (табл. 3).

Таблица 3

Перспективы развития ветроэнергетики мира [39]

Годы	Установленная мощность, ГВт	Инвестиции, трлн. долл.	Рабочие места, млн.
2017	514	0,107	1,1
2030	2905	4,34	2,2
2050	5476	11,96	2

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В табл. 4 приведён существующие и перспективные стоимостные ориентиры в области возобновляемых источников энергии.

Таблица 4

Существующие и перспективные стоимостные ориентиры в области возобновляемых источников энергии [40]

Энергоисточник	Капитальные вложения, долл/кВт		Себестоимость производства, Cent/кВт*ч	
	2005	2030	2005	2030
Биомасса	1000-2500	950-1900	3,1-10,3	3,0-9,6
Геотермальная энергетика	1700-5700	1500-5000	3,3-9,7	3,0-8,7
Крупная гидроэнергетика	1500-5500	1500-5500	3,4-11,7	3,4-11,5
Малая гидроэнергетика	2500	2200	5,6	5,2
Солнечная фотоэнергетика	3750-3850	1400-1500	17,8-54,2	7,0-32,5
Солнечная теплоэнергетика	2000-2300	1700-1900	10,5-23,0	8,7-19,0
Приливная энергетика	2900	2200	12,2	9,4
Наземная ветроэнергетика	900-1100	800-900	4,2-22,1	3,6-20,8
Морская ветроэнергетика	1500-2500	1500-1900	6,6-21,7	6,2-18,4
АЭС	1500-1800	-	2,5-6,0	2,5-5,0
ТЭС на угле	1000-1200	1000-1250	2,2-5,9	3,5-4,0
ТЭС на газе	450-600	400-500	3,0-3,5	3,5-4,5

Гидроэнергетика мира. Среди ВИЭ гидроэнергетика является наиболее технологически совершенной, на нее приходится 87% производимой мировой электрической энергии из возобновляемых источников [41].

По прогнозам Международного энергетического агентства, (МЭА), среднегодовой темп роста производства электроэнергии на крупных ГЭС в 2007–2030 годах составит 2%, к 2030-му производство энергии на них превысит 4380 ТВт.ч. При этом доля крупных гидроэлектростанций на общем мировом рынке электроэнергии составит 12,4% [42]. К 2050 году общая выработка ГЭС мира прогнозируется до 6000 ТВт*ч.

На рис. 6 приведен прогноз выработки электроэнергии в ГЭС мира. Млрд. кВт*ч

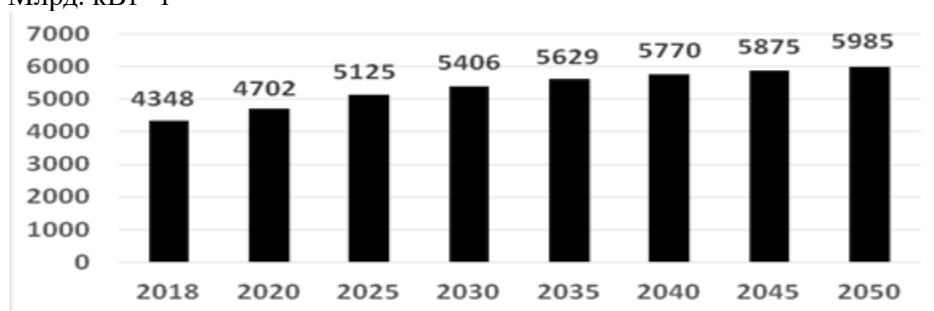


Рис. 6. Прогноз выработки электроэнергии в ГЭС мира [37]

В странах Центрально-Азиатского региона (ЦАР) электропотребление неуклонно растет и, в последующем, будет увеличиваться с приростом до 4 % в год [1]. В табл. 4 приведены гидропотенциалы стран ЦАР.

Таблица 4

Гидроэнергетический потенциал стран Центрально-Азиатских стран (2019) [43]

Страна	Установленная мощность ГЭС, МВт	Производство электроэнергии ГЭС, млрд. кВт*ч	Экономический гидропотенциал, млрд. кВт*ч/год	Использование гидропотенциала, %	Доля в гидропотенциале ЦАР, %
Таджикистан	4037	17,1	317	5	69
Кыргызстан	2910	14,0	99	14	22
Казахстан	2248	7,9	27	29	6
Узбекистан	1420	6,0	15	49	3
Туркменистан	1	0	2	0	0
Всего	10616	45,0	460	10%	100

Оценка влияния первичных источников энергии на окружающую среду [44]. Все без исключения технологии производства электроэнергии оказывают воздействие на окружающую среду в течение своего жизненного цикла; и эти воздействия могут широко варьироваться в зависимости от места реализации. Надлежащая энергетическая политика должна основываться на оценках жизненного цикла и учитывать воздействие на окружающую среду всех технологий производства и вспомогательной инфраструктуры всей энергетической системы.

Оценка жизненного цикла (Life cycle assessment – LCA - ОЖЦ) — это метод, который может дать представление о потенциальном воздействии на окружающую среду различных низкоуглеродных технологий и вкладе этих технологий в глобальное загрязнение окружающей среды. Основная задача - максимально ограничить выбросы парниковых газов в условиях увеличения потребления первичных энергоносителей.

Деятельность глобального энергетического сектора, от добычи, преобразования, промежуточного и конечного использования, составляет примерно три четверти выбросов парниковых газов [44], в основном из-за сжигания угля, природного газа и нефтепродуктов; большая часть этого сгорания используется сегодня для производства электроэнергии.

В 2019 году в мире было выработано более 27 ПВтч электроэнергии, в том числе: 17 ПВтч электроэнергии за счет ископаемого топлива, 2,8 — за счет атомной энергии и 7,2 — за счет возобновляемых источников энергии [44] (рис. 7). При этом, производство электроэнергии в мире по составляющим следующее: за счет ископаемых источников – 65%, атомная станции – 10,4 %, возобновляемые источники – 26,6%.

Разработка перспективной энергетической политики является ключом к достижению целей декарбонизации и сдерживанию глобального потепления до порога «2°C». В частности, обеспечение электроэнергией, при низком уровне выбросов углерода, является важной характеристикой совместимой с «2°C» энергетической системы и влекут за собой электрификацию большей части экономики мира.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

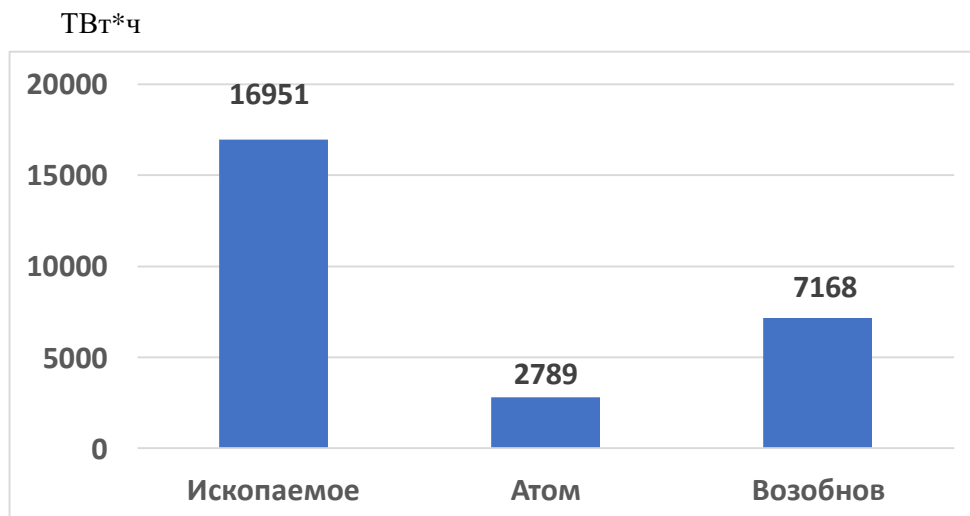


Рис. 7 Выработка электроэнергии электростанциями мира, ТВтч, 2019 [44]

Показатели выбросов парниковых газов (ПГ) при использовании первичных источников энергии представлены ниже [44]:

- угольная энергетика показывает самые высокие оценки: (751-1095) гСО₂/кВтч. При оснащении устройством для улавливания углекислого газа и учета СО₂ хранения (CCS) этот показатель может снизиться до (147-469) гСО₂/кВтч (соответственно);

- установка комбинированного цикла, работающая на природном газе, может выбрасывать (403-513) гСО₂/кВтч с точки зрения жизненного цикла и в любом месте и (49-220) гСО₂/кВтч с CCS. Модели для угля и природного газа включают утечку метана на фазы добычи и транспортировки (для газа); тем не менее, прямое сжигание преобладает в выбросах парниковых газов в течение жизненного цикла;

- возобновляемые источники энергии, гидроэнергетика демонстрирует наибольшую изменчивость, поскольку выбросы в значительной степени зависят от места, начиная от 6 до 147 гСО₂/кВтч. Поскольку биогенные выбросы из отложений, накапливающихся в водохранилищах, в основном исключены, следует отметить, что они могут быть очень высокими в тропических районах;

- солнечные технологии генерируют выбросы ПГ в диапазоне (27-122) гСО₂/кВтч для CSP и (8,0-83) гСО₂/кВтч для фотогальваники, для которой тонкопленочные технологии значительно менее углеродоемки, чем фотоэлектрические на основе кремния. Более высокий диапазон значений парниковых газов для CSP, вероятно, никогда не будет достигнут в действительности, поскольку для этого требуется высокое солнечное излучение экономически жизнеспособным (условие, которое не выполняется, например, в Японии или Северной Европе);

- выбросы ПГ от ветровой энергии варьируются в пределах (7,8-16) гСО₂/кВтч для наземных и (12-23) гСО₂/кВтч для береговых турбин;

- ядерная энергетика демонстрирует самые меньшие выбросы (5,1-6,4) гСО₂/кВтч.

Таким образом, из приведенных данных очевидно, что комплексное управление природными ресурсами является ключом к преодолению проблем перехода к низкоуглеродной системе. Устойчивое управление ресурсами в системе “люди-планета-процветание”, обеспечивает межсекторальные взаимосвязи и минимизацию потенциальных неблагоприятных последствий применения различных источников энергии [44].

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. / Под общей редакцией академика А.У. Салимова. - Т. Fan va tehnologiyalar. 2021, - 952 стр.
2. Соколов М.М. Перспективы потребления нефти в мире и динамика мировых цен на нее. // Вестник ИЭ РАН. - №4. 2019. - С. 108–124.
3. World Oil Outlook 2040. ОПЕС, Vienna, Austria, 2018, 412 p. (www.opec.org).
4. Global gas outlook synopsis. Doha. Qatar. GECF, 2018, 99 p.
5. BP Energy Outlook 2018 edition. 125 p.
6. Основные страны-потребители нефти к 2040 году. (https://baigenews.kz/news/osnovnih_stranpotrebitelei_nefti_k_2040_godu_ozvuchili_v_opek/).
7. World Oil Outlook 2040. ОПЕС, Vienna, 05.11.2019. 32 p.
8. Асон Т.А. Перспективы развития мирового рынка нефти. Вестник Евразийской науки. 2019, №2, Том 11.
9. Бобылов Ю.Н. Мировой рынок нефти: основные тенденции 2018 г. Экономическое развитие России. Том 26, - № 1, 2019.
10. Малова Т.А., Сысоева В.И. Мировой рынок нефти: поиск равновесия в условиях новой «нефтяной» реальности. МГИМО, 2017.
11. Эволюция мировых энергетических рынков и её последствия для России. -М.: Институт энергетических исследований РАН, Аналитический центр при Правительстве РФ, 2015. 400 с.
12. Горючие сланцы и сланцевая нефть. Новая жизнь старых запасов // Все о нефти, 2011-2016. (URL: <http://vseonefti.ru/neft/slancevaya-neft.html>).
13. Outlook for energy: a perspective to 2040. 2019. 58 p. (www.exxonmobil.com/energyoutlook).
14. Соколов М.М. Перспективы потребления нефти в мире и динамика мировых цен на нее. // Вестник ИЭ РАН. - №4. 2019. - С. 108–124.
15. Соломонов А.П. Прогнозные оценки и перспективы развития мировой нефтеперерабатывающей промышленности. -Рязань. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2014. (<http://naukovedenie.ru>).
16. Мировой рынок газа в 2019 году. (<https://center-yf.ru/data/economy/Mirovoy-rynok-gaza-v-2019-godu.php>).
17. BP Energy Outlook 2018 edition. 125 p.
18. Карпов А.Б., Кондратенко А.Д. Перспективные процессы газопереработки и газохимии. / Сборник трудов 72-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2018». - М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. - С. 176-184.

19. Сжиженный природный газ в мире и России: текущее состояние и перспективы развития. (<https://www.vostockcapital.com/spg/szhizhennyiy-prirodnyiy-gaz-v-mire-rossii-tekushhee-sostoyanie-perspektivy-i-razvitiya>.12.02.2017).
20. Воздействие на окружающую среду при разработке месторождений сланцевых углеводородов. – М.: Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016, -№ 12. - С. 270–278.
21. Ашпина О. Газохимия. Еще одни шанс. The Chemical Journal. Июнь–июль 2009 г. - С. 26.
22. Переработка каменного угля. (<https://helpiks.org/9-22646.html>).
23. Прогноз развития энергетики мира и России 2016. / Под ред. А.А.Макарова, Л.М.Григорьева, Т.А.Митровой; ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ. М., 2016.137 с. (<http://ac.gov.ru/files/publication/a/10585.pdf>).
24. Афанасьева М.В. Мировой угольный комплекс: динамика, сценарии и перспективы развития. Угольная промышленность России. -М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 30.10.2013, - 56 с.
25. Future of nuclear energy. (<https://www.sciencedaily.com/releases/2018/09/180907110524.htm>).
26. Марцинкевич Б. Атомная «Гармония» поможет Парижскому соглашению по климату АЭС остановят глобальное потепление. (<http://geoenergetics.ru/2018/10/17/atomnaya-garmoniya-pomozhet-parizhskomu-soglasheniyu-po-klimatu/>).
27. Боровик А.С. Не производят ядерные отходы, дольше работают и безопаснее: какими будут ядерные реакторы в 2020-х годах. (<https://vc.ru/future/57227-ne-proizvodyat-yadernye-othody-dolshe-rabotayut-i-bezopasnee-kakimi-budut-yadernye-reaktory-v-2020-h-godah>).
28. World Oil Outlook 2040. ОПЕК, Vienna, Austria, 2018, 412 p. (www.opec.org).
29. Nuclear Power in the World Today (Updated January 2019). (<http://www.world-nuclear.org>).
30. Международное состояние и перспективы ядерной энергетики – 2017. (http://minenergo.gov.by/o_ministerstve/yadernaya_energetika/mezhdunarodnoe-sostoyanie-i-perspektivy-jadernoj-jenergetiki-2017/).
31. Зубарев В. Насколько велика атомная энергетика России? (<https://www.factograph.info/a/29157120.html>.10.04.2018).
32. Нигматулин Б.И. Атомная энергетика в мире. Состояние и прогноз до 2050 года. // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25, № 4. - С. 6–22.
33. Марцинкевич Б. Мировому энергетическому атомному проекту нужен темп. (<https://regnum.ru/news/economy/2511236.html>.31.10.2018).
34. Марцинкевич Б. Атомная энергетика стремится к «Гармонии». (<https://regnum.ru/news/economy/2507931.html>. 25.10.2018).
35. Международное энергетическое агентство корректирует прогноз развития атомной энергетики в мире. (<http://www.atomic-energy.ru/news/2018/05/27/86166>).
36. Последняя надежда человечества - Замкнутый Ядерный Топливный Цикл! (<https://zen.yandex.ru/media/dbk/posledniaia-nadejda-chelovechestva-zamknutyi-iadernyi-toplivnyi-cikl-5df166c634808200af962aad>. 13.12.2019).

37. IEO 2019. Тенденции развития энергетики 2018-2050 гг. (<https://www.sites.google.com/a/eeseaec.org/eeseaec/energetika-stran-mira/ieo-2019-tendencii-razvitia-energetiki-2018-2050-gg>).
38. Прогноз до 2050 года от Bloomberg показывает, что ВИЭ привлекут 11,5 триллионов долларов инвестиций. (<https://www.windpower.20.08.2018>).
39. Renewable energy benefits. leveraging local capacity for offshore wind. IRENA, Abu Dhabi. 2018, 44 p. (www.irena.org/Publications).
40. World Energy Issues Monitor 2020. World Energy Council. 2020. 179 p.
41. Ясинский В.А., Мироненков А.П., Сарсембеков Т.Т. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ. // Отраслевой обзор - №14. Алматы. 2011, - 35 с.
42. Тенденции и перспективы развития малой гидроэнергетики в мире. (<http://esto.tomsk.gov.ru/articles/hydroenergy/2808/>).
43. <https://yandex.uz/images/search?text=image&lr=10335&source=wiz>.
44. Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options. United Nations Economic Commission for Europe. United Nations, Geneva, 2021. 107 p.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

**СИТУАТИВНЫЙ ПОДХОД К СТРУКТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ
РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ**

Р.А. Ситдиков; О.В. Радионова, О.Х. Полвонов, Х.З. Сиддиков

Электр энергетика тизимларини (ЭЭТ) бошқаришни амалга оширишга янги ёндашув уларнинг тузилмаларидаги ўзгаришлар, яъни кўплаб кичик ишлаб чиқариши манбалари бўлган марказлаштирилган марказлаштирилмаган, тақсимланган электр энергетикасига ўтиши билан боғлиқ. RES асосида, шунингдек, Smart Grids, виртуал электр стантсиялари (ВПП) кўринишидаги микрогридлар пайдо бўлади. ЭПС тузилмаларидаги ўзгаришлар тақсимловчи электр тармоқлари (0,4-10-35-110 кВ) даражаларида иерархик бошқарув усулларидан ҳетерархик бошқарув усулларига ўтишни талаб қилади.

Рассматривается новый подход к реализации управления электроэнергетическими системами (ЭЭС), связанный с изменениями в их структурах, а именно – перехода от централизованной к децентрализованной, распределенной электроэнергетике с множеством источников небольшой генерации, в том числе на основе ВИЭ, а также появлению микросетей в виде Smart Grid, виртуальных электростанций (VPP) и др. Изменения в структурах ЭЭС диктуют переход на уровне распределительных электрических сетей (микросетей 0,4-10-35-110 кВ) от иерархических к гетерархическим методам управления.

A new approach to the implementation of the management of electric power systems (EPS) is considered, associated with changes in their structures, namely, the transition from a centralized to a decentralized, distributed electric power industry with many sources of small generation, including those based on RES, as well as the emergence microgrids in the form of Smart Grids, virtual power plants (VPPs), etc. Changes in the EPS structures dictate the transition at the levels of distribution electrical networks (0.4-10-35-110 kV) from hierarchical to heterarchical control methods.

Введение. Распределённая энергетика в виде микросетей – будущее электроэнергетики [1-5]. Рассмотрим микросети (microgrids), являющиеся энергосистемами небольшого масштаба, обычно оснащёнными возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), работающими как автономно, так и в качестве островного сегмента основной электросети. Преимущества микросетей: снижение потерь электроэнергии за счет снижения объёмов передаваемой электроэнергии и уменьшения протяженности длинных линий передачи; повсеместная доступность; повышение надежности электроснабжения потребителей.

Производство электроэнергии небольшими распределёнными источниками становится очень целесообразным, если есть системная «опора» в виде магистральной линии связи с центральной сетью. Электроэнергия от микросетей будет направляться к своим потребителям и в центральную сеть в зависимости от условий спроса и предложения.

На западе в последние годы большое внимание уделяется развитию микросетей четырёх основных типов (назначений) [2, 6]:

- 1) удалённые микросети (системы), изолированные от единой энергосети и предназначенные для энергоснабжения удаленных потребителей (поселения, военные базы или единичные потребители);
- 2) микросети учреждений/кампусов с единоличным владельцем;
- 3) микросети с несколькими владельцами;
- 4) микросети муниципалитетов и энергоснабжающих компаний, связанные с более крупными объектами инфраструктуры.

Очевидно, что подобные изменения и соответствующие подходы ожидаются в электроэнергетике Узбекистана

Существующие структуры иерархического управления. Принципы иерархического управления электроэнергетических систем (ЭЭС) с использованием всей совокупности средств управления сложились в начале прошлого века [2,3]. Всё большее усложнение, расширение и централизация ЭЭС требовали эффективных решений по структуре систем и средств управления. Полученный опыт тогда показал, что иерархическая структура управления обеспечивает наилучшую управляемость ЭЭС при всевозможных режимах и ситуациях, особенно при авариях. Отдельные ЭЭС, станции и потребители при совместной работе в системе связаны в едином процессе, что определило иерархическую структуру управления как наиболее эффективную (рис.1), поэтому системный иерархический принцип управления ЭЭС и её подсистем с потребителями и в настоящее время остается главным, что связано также с необходимостью обработки больших объёмов информации.

В иерархической системе (рис.1), состоящей из i уровней, происходит следующее:

- все уровни информационно связаны между собой, а каждый $i - й$ уровень осуществляет управление уровнем $(i+1)$ и одновременно управляется уровнем $(i-1)$;
- информация, поступающая от объекта управления, движется от нижних уровней к верхним и при этом последовательно сжимается;

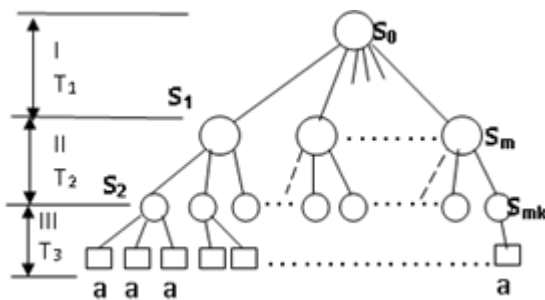


Рис.1. Иерархическая (ступенчатая) структура систем управления. Время управления T_y является одним из основных параметров: $T_y = T_1 + T_2 + T_3$; каждая составляющая параметра T включает в себя время получения информации, её обработку и передачу нижеследующему уровню; при этом выявлена закономерность: $T_1 > T_2 > T_3$

- после обработки на верхнем уровне управляющие воздействия поступают от верхних уровней к нижним, при этом общее время управления $T_y = \sum T_{yi}$, представляющее сумму затрат времени каждого уровня T_{yi} , подчиняется зако-

номерности: $T_{i-1} < T_{yi} < T_{yi+1}$. Такова закономерность иерархических структур в различных сферах управления.

Основные достоинства иерархических структур: простота построения; использование независимых классификационных признаков в различных ветвях иерархической структуры.

Недостатки: жесткость структуры, которая приводит к сложности внесения изменений; невозможность группировки по заранее не предусмотренным сочетаниям признаков; увеличение длительности периода управления в многоуровневых структурах.

В электроэнергетике применяются три иерархических принципа управления режимами: иерархия в пространстве, во времени и ситуативная [7-9].

Иерархия в пространстве имеет четыре уровня управления. Этот вид иерархии позволяет управлять территориально распределенными объектами энергетики как единым целым.

Все уровни взаимосвязаны. Для любого нижнего уровня нагрузки станций, перетоки по ЛЭП и другие параметры определяются с учетом условий, формируемых на более высоком уровне.

На рис.2. в качестве примера приведена существующая структурная схема оперативно-диспетчерского управления ЭЭС Узбекистана, в которой реализован принцип пространственной иерархии. Структурно Узбекская энергосистема состоит из частей: Центральной, Восточной, Юго-Западной, Южной и Северо-Западной части энергосистемы, управляемых соответствующими региональными диспетчерскими службами.



Рис.2. Структурная схема пространственной иерархии органов оперативно-диспетчерского управления ЭЭС Узбекистана: ГУП «НДЦ» – Государственное унитарное предприятие «Национальный диспетчерский центр»

Национальный диспетчерский центр осуществляет круглосуточное оперативное диспетчерское управление согласованной работой электростанций и электрических сетей энергосистемы Узбекистана, работающей параллельно с Объединенной энергосистемы стран Центральной Азии (в статье не описывается влияние диспетчерского управления ОЭС стран ЦА на управление ЭЭС РУз).

Иерархия во времени позволяет отдельно рассматривать задачи планирования режимов для различных периодов по времени. Цели планирования режимов, исходная информация и ее достоверность, состав задач зависят от периода планирования. Это позволяет декомпозировать задачу управления во времени на несколько частей. Кроме этого, отметим иерархию времени по длительно-

сти управления по ступеням: чем выше ступень управления, тем длиннее период управления (рис.1). Все уровни взаимосвязаны.

Ситуативная иерархия устанавливает приоритеты решения различных режимных задач в зависимости от состояния системы. Наивысший приоритет имеют задачи, которые необходимо решать при авариях. За ними следуют задачи, возникающие в утяжеленных условиях, и, наконец, те, которые соответствуют нормальным условиям. Эта последовательность определяется требованиями надежности. При авариях экономичность режимов является второстепенным фактором, так как главное - не допустить развития аварии и вернуть систему к нормальному состоянию.

Декомпозиция задач управления режимами на основе иерархических принципов снимает многие трудности, уменьшает объемы обрабатываемой в узлах информации, упрощает структуру их решения и, тем самым, позволяет повысить эффективность системы управления централизованными ЭЭС.

Из вышесказанного очевидна значимость иерархической структуры управления для существующих государственных централизованных ЭЭС и их подсистем. В то же время изменения, связанные с акционированием и реструктуризацией ЭЭС, появлением малой энергетики в виде распределенных систем электроснабжения, микросетей, виртуальных электростанций, просьюмеров, использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), диктуют изменения в иерархической структуре управления, особенно в структурах управления распределительными электроэнергетическими сетями 0,4 – 10 -35 кВ, непосредственно связанных с потребителями.

Гетерархическое управление. Понимание гетерархии как системы распределённого управления давно находит отражение в идеях и концепциях управления различными общественно-политическими экономическими, техническими и другими системами [8-11].

Понятие «гетерархия» во многих случаях не противопоставляется иерархии, а скорее описывает феномен естественного изменения в соотношении иерархических и не иерархических процессов коммуникации и управления, при котором доминирующая форма организации структуры субъекта (гетерархическая или иерархическая), при снижении эффективности своей работы, способна перейти в состояние некоторого паритета, или уступить доминирующее положение другой форме, если это необходимо и возможно.

Элементы гетерархического принципа управления издавна используются в электроэнергетике в виде некоторых устройств и систем релейной защиты и автоматики (РЗА), когда они функционируют практически независимо как друг от друга, так и от иерархических структур управления, представляя собой непосредственное управление процессами на определённой ступени управления объектами электроэнергетики. Для повышения эффективности современных ЭЭС настало время расширить использование гетерархических методов и структур управления, обладающих возможностями обрабатывать большие объёмы информации в темпе процесса – *on line*. На рис.3 схематично показаны структуры иерархического и гетерархического управления.

Сравнение свойств иерархии и гетерархии. Иерархический подход предполагает постоянный дистанционный компьютерный контроль всех участ-

ков микросети. Недостатками являются необходимость во множестве надежных каналов связи, большой объём передаваемой и обрабатываемой информации.

Гетерархический подход к управлению предполагает автоматическое изменение значимых параметров микросети, основываясь на изменениях основных параметров непосредственно в ней.

Таким образом, за пределами иерархии находится концепция, известная как «гетерархия». В то же время гетерархия - уровень самоорганизации, обычно уже существующий внутри многих иерархий.

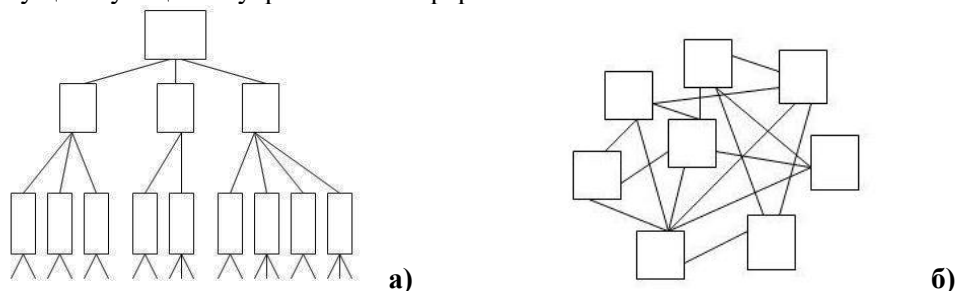


Рис.3. Иерархическая (а) и гетерархическая (б) структуры управления

В то время как иерархия требует по своей сути вертикального потока информации, гетерархия распределяет информацию горизонтально. В иерархии поток влияния и информации всегда зависит от разрешения или одобрения кого-то вышестоящего. Сравнение свойств иерархии и гетерархии приводится в табл.1. В гетерархии ответственность и принятие решений распределяются равномерно по системе. Поток информации, обработанный гетерархией, более эффективен, и такая модель часто сравнивается со способом взаимодействия нейронов головного мозга.

Таблица 1

Сравниваемые аспекты	Концепция управления	
	иерархия	гетерархия
Тип руководства	моноцентрический	Смена лидера по ситуации
Правила отношений	Четко определенные обязанности и права	Меняющиеся нормы и права
Организация работы	Жесткое разделение функций	Временное закрепление функций
Источник эффективности	Рациональная структура	Самоорганизация, развитие инициативы элементов,

Таким образом, из вышеизложенного следует, что в современной энергетике использование гетерархического подхода к построению структур управления распределёнными электрическими сетями с интеллектуальными микросетями, виртуальными электростанциями, просьюмерами и др., более эффективно, чем использование традиционной иерархической структуры управления.

Заключение. 1. Мировые тенденции сочетания централизованной и распределенной генерации характерны и для Узбекистана.

2. Рост доли распределенной генерации в ЭЭС имеет не только положительные стороны, но и создает определенные технические проблемы, которые

связаны с изменением свойств систем, возможностей управления ими в нормальных и аварийных условиях. Эти проблемы решаемы, однако при этом усложняется диспетчерское и автоматическое управление ЭЭС, требуется разработка новых структур управления ими.

3. В дополнение к существующей иерархической структуре систем управления в электроэнергетике, необходимо использовать также гетерархическую структуру управления распределёнными электрическими сетями с ВИЭ как частей сложной иерархической энергосистемы.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития. /под ред. А.У. Салимова. –Т.:Fan va te[nologiyalar nashriyot-manbaa uyi. 2021. -952 с.
2. Zhao B., Zhang X., Li P., Wang K., Xue M., and Wang C. Optimal sizing, operating strategy and operational experience of a stand-alone microgrid on Dongfushan Island. Applied Energy, 2014, vol. 113, pp. 1656–1666.
3. Gregoratti D., Matamoros J. Distributed Energy Trading: The Multiple-Microgrid Case. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, vol. 62, no. 4, pp. 2551–2559.
4. Kahrobaee S., Rajabzadeh R. A., Soh L.-K., Asgarpoor S. A multiagent modeling and investigation of smart homes with power generation, storage, and trading features. IEEE Trans. Smart Grid, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 659–668.
5. Харченко В.В., Адомавичюс В., Гусаров В.А. Микросеть на основе ВИЭ как инструмент концепции распределенной энергетики. //Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 2 (119). С. 80-85.
6. Интеллектуальное развитие энергетики с участием активного потребителя. / Под ред. В.В. Бушуева. –М.:Энергия. 2013, -84 с.
7. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / под ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. — М. МЭИ, 2000. -648 с.
8. Бадьянов В.И., Трофимцев Ю.И. Иерархия и гетерархия в системе принятия решений. – М.: Дело. 2010. 225 с.
9. Насиров Т.Х., Ситдииков Р.А., Радионова О.В. Разработка экспертной системы для управления режимами электроэнергетических систем. //Проблемы информатики и энергетики. 2002. -№3. –С.21-26.
- 10, Месарович М., Мако Д., Такахага И. Теория иерархических многоуровневых систем / пер. с англ. под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
11. Vovk S.P., Ginis L.A. Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems // European Researcher. – 2012. – Vol. (20), № 5–1. – P. 541–545.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом, Узбекистан*

UDC 620.9

CALCULATION OF NORMATIVE LOSSES OF ELECTRICITY IN
ELECTRIC NETWORKS 0.38–10 KV

A.D. Taslimov, A.N. Sultanov

Электр энергиясини меъёрлаш электр тармоқларидан электр энергияни узатишда ёқилги энергия ресурслари сарфи меъёрларини асослаш ва электр тармоқлари ходимларини рағбатлантириши учун амалга оширилади. Бунинг учун мақолада прогноз даври учун 0,38-10 кВли электр тармоқларида электр энергия исрофининг прогноз қийматлари абсолют бирликда норматив исроф таркибларинг прогноз қийматлари шаклида ҳисобланади: шартли ўзгармас, климатик, электр тармоқлардаги юкламали исроф ва электр энергиясини ҳисобга олиш асбобларининг хатолиги билан боғлиқ исрофларнинг прогноз қийматлари, ҳамда электр энергияни тармоқ орқали узатишдаги исрофлар. Электр энергия исрофининг норматив қийматини ҳисоблаш алгоритми келтирилган ва таклиф этилган алгоритм асосида 0,38-10 кВли тақсимловчи электр тармоғининг аниқ схемаси учун электр энергия исрофини ҳисоблаш амалга оширилган.

Нормирование потерь электроэнергии осуществляется для обоснования норм расхода ТЭР на передачу электроэнергии по электрическим сетям и стимулирования персонала предприятия электрических сетей. Для этого в статье рассчитываются прогнозные значения нормативных потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38-10кВ на прогнозируемый период в абсолютных единицах в виде суммы прогнозных значений составляющих нормативных потерь: прогнозные значения условно постоянных, климатических, нагрузочных потерь электроэнергии и потерь, обусловленных допустимыми погрешностями систем учета электроэнергии, пропуска электроэнергии через электрическую сеть. Составлен алгоритм расчета нормативной величины потерь электроэнергии и на основе предложенного алгоритма проведен расчет потерь электроэнергии для конкретной схемы распределительной электрической сети 0,38–10 кВ.

Rationing of electricity losses is carried out to justify the consumption rates of fuel and energy resources for the transmission of electricity through electric networks and to stimulate the personnel of an electric grid enterprise. To do this, the article calculates the predicted values of standard losses of electricity in electric networks 0.38-10 kV for the forecast period in absolute units as the sum of the predicted values of the components of standard losses: predicted values of conditionally constant, climatic, load losses of electricity and losses, due to the permissible errors of electricity metering systems, transmission of electricity through the electrical network. An algorithm for calculating the standard value of electricity losses was compiled and, based on the proposed algorithm, the calculation of electricity losses was carried out for a specific scheme of a distribution electrical network of 0.38–10 kV.

Introduction. Calculations of electricity losses in electrical networks (ES) are carried out in order to solve the technical and economic problems of energy systems

and problems related to interaction with higher state and departmental organizations. The first ones include the tasks of increasing the efficiency of the ES functioning (carried out by the ES operating personnel): determining the magnitude and identifying the centers of losses, developing measures to reduce losses, and creating a personnel incentive system. The second type of task is to justify the level of electricity losses in the ES (calculation and justification of loss standards), the establishment of norms for the consumption of fuel and energy resources in the formation of tariffs for electric energy [1].

The main methodological provisions for calculating the standard losses of electricity have been developed and described in special technical and educational methodological literature. However, the conditions for the operation of ESs that have changed significantly in recent years (in many cases, underloading of networks and their elements, the widespread introduction of electronic metering devices and telemechanic devices, the widespread computerization of networks, the accumulated experience in calculating and analyzing losses, etc.) require a more flexible, perfect methodological, algorithmic and software support for the problem of losses, capable of quickly adapting to dynamic operating conditions, taking into account the information "observability" of the network, proving and substantiating the correctness of the results obtained.

The actual value of the normative electricity losses in the power plant ΔW_{norm} is determined by the formula [1]:

$$\Delta W_{norm} = \Delta W_{cc} + \Delta W_{CD} + \Delta W_1 + \Delta W_{p.er} + \Delta W_s, \text{ thousand kWh}; \quad (1)$$

where ΔW_{cc} ΔW_k ΔW_n $\Delta W_{p.er}$ – conditionally constant values (ΔW_{cc}), climatic (ΔW_c), load (ΔW_1) losses of electricity in the power plant and losses due to permissible errors in electricity metering systems ($\Delta W_{p.er}$) for the reporting period, thousand.kWh; ΔW_s - "season" - the value of the seasonal component of the standard losses of electricity, thousand kWh.

The value of conditionally constant losses of electricity $\Delta W_{cc}^{0.38-10}$ in ES 0.38–10 kV is determined by the formula:

$$\Delta W_{cc}^{0.38-10} = \Delta W_{cl} + \Delta W_{tr1} + \Delta W_{cap} + \Delta W_{sys} + \Delta W_{v.ar} + \Delta W_{ov.v} + \Delta W_{tr.v} + \Delta W_m + \Delta W_{SPPS}; \quad (2)$$

where ΔW_{tr} - losses of idling power of power transformers, thousand kWh; ΔW_m - electric power losses in direct connection meters (without measuring transformers), thousand kWh; ΔW_{SPPS} – electricity losses in the SPPS, thousand kWh.

Electricity losses in cable line insulation (CL) ΔW_{cl} are calculated by the formula [2]:

$$\Delta W_{КЛ\text{х}} = T_p b_{cl} U^2 L_{cl} tg\delta, \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}; \quad (3)$$

where T_p - number of hours of CL operation in the billing period, h; b_{cl} – capacitive conductivity of the cable, Sm / km (passport value); U – is the operating voltage of the cable, kV; L_{cl} – cable length, km; $tg\delta$ – is the tangent of the dielectric loss angle in the cable:

$$tg\delta = (0,003 + 0,0002T_{op,y})(1 + a_{ct} T_{op,y});$$

where $T_{op,y}$ – number of years of cable operation, year; a_{ct} – cable insulation aging coefficient (assumed to be 0.05).

No-load electricity losses in power transformers W_{tr} , as well as power losses in SR ΔW_{SR} are calculated by the formula [2]:

$$\Delta W_{no.l} = \Delta P_{no.load} \sum_{i=1}^n \left(\frac{U_i}{U_{up.v}} \right)^2 T_i \cdot 10^{-3}, \text{ thousand kWh}; \quad (4)$$

where $\Delta P_{no.l}$ - transverse loss of active power of the idle transformer; U_i - the operating voltage of the transformer in i-m mode, kV; $U_{up.v}$ - nominal voltage, kV; T_i - the number of hours of operation of the transformer in i-m mode, h; n - is the number of transformer operating modes under consideration.

Electricity losses in CD ΔW_{CD} are calculated according to the formula [2]:

$$\Delta W_{CD} = \Delta P_{CD} W_{qCD} 10^{-3}, \text{ thousand kWh}; \quad (5)$$

where ΔP_{CD} - specific losses of active power in CD, kW/VAr;; W_{qCD} Q-reactive energy, produced CD, kVAr · h.

Losses of electricity in TV with attached meters ΔW_{TV} and in the UPV ΔW_{UPV} are determined by the formula:

$$\Delta W = \Delta W_{aver} \frac{T_p}{8760}, \text{ thousand kWh}; \quad (6)$$

where ΔW_{aver} - The average value of electricity losses in equipment, thousand kWh per year; T_p - s the number of hours of operation of the equipment in the calculation period, h.

Losses of electricity in VA ΔW_{VA} and LOV ΔW_{LOV} are accepted on the basis of data from equipment manufacturers.

Electricity losses in the SPPS ΔW_{SPPS} are determined by the formula [4]:

$$\Delta W_{SPPS} = \Delta W_{SPPS.sp} N_{PC} \frac{T}{8760}, \text{ thousand kWh}; \quad (7)$$

where $\Delta W_{SPPS.sp}$ - average value of specific losses of electric power in SSPS, thousand kWh at the switchgear of one substation per year.

The magnitude of climatic losses of electricity $\Delta W_c^{0,38-10}$ в ES 0,38–10 kV should be determined by the formula:

$$\Delta W_c^{0,38-10} = \Delta W_{lc}, \text{ thousand kWh}; \quad (8)$$

where ΔW_{lc} - electricity losses from background leakage currents through the insulators of the air sections of the network 0.38–10 kV, thousand kWh.

Load losses of electricity ΔW_n in individual elements of the ES, the number for a separate element of the network with active resistance R:

$$\Delta W_n = 3R \int_0^T I^2(t) dt$$

In practice, apply:

$$\Delta W_n = 3R \int_0^T I^2(t) dt \approx 3R \int_1^T I^2(t) \Delta t = 3R I_{RMS}^2 T = 3R I_{nb}^2 \tau = 3R I_{aver}^2 \kappa_f^2 T, \quad (9)$$

The values of electricity losses due to permissible errors of electricity metering systems in the power plant $\Delta W_{p.er}$ are calculated [3]:

$$\Delta W_n = 3R \int_0^T I^2(t) dt \approx 3R \int_1^T I^2(t) \Delta t = 3R I_{cp.kb}^2 T = 3R I_{nb}^2 \tau = 3R I_{cp}^2 \kappa_{\delta}^2 T; \quad (10)$$

where δ_{pi} (δ_{oi}) - relative error of the i-th electricity metering system, %; W_{pi} (W_{oi}) is the amount of electricity received (released) through the i-th electricity metering system for the billing period, thousand kWh; n is the number of electricity metering systems that take into account the supply of electricity; m is the number of electricity me-

tering systems that take into account the supply of electricity to large consumers; δ_3 – relative error of three-phase electricity meters, %; k_3 is the number of metering points for three-phase consumers; W_3 is the total amount of electricity consumed during the billing period by three-phase consumers according to electricity metering devices, with the exception of large consumers accounted for by m-electricity metering systems, thousand kWh; δ_1 - relative error of single-phase electricity meters, %; k_1 is the number of metering points for single-phase consumers; W_1 is the total amount of electricity consumed by single-phase consumers according to electricity metering devices, with the exception of large consumers accounted for by m-electricity metering systems, thousand kWh [5,6].

The total relative error of the i -th measuring complex is determined by the formula:

$$\delta_i = \pm K \sqrt{\delta_{ci}^2 + \delta_{tci}^2 + \delta_{tvi}^2 + \delta_{li}^2}; \quad (10)$$

where K – coefficient depending on the accepted confidence probability, at $p = 0.95$; $K = 1.1$; δ_{ci} is the relative error of the electricity meter, %; δ_{tci} (δ_{tvi}) – relative error of TC (TV), corresponding to the accuracy class, %; δ_{li} - relative error in the lines of connection of electricity metering devices, equal to the permissible voltage losses in them, %.

Based on the above algorithm, the calculation of electricity losses in distribution ES with a voltage of 0,38–10 kV, shown in figure 1, was carried out [7].

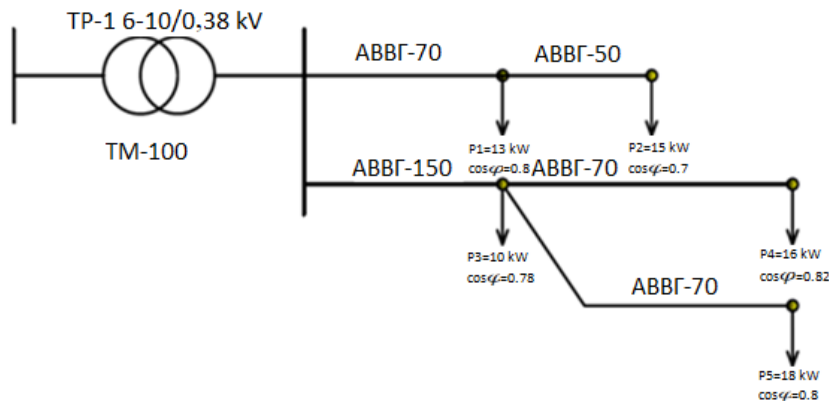


Fig.1. Electrical network 6-10/0,38 kV

Table 1

Lists the electrical quantities for ES

Line number	Line conductor mark	Line sections, F (mm ²)	Line lengthl (km)	r_0 (Om/km)
1	АВВГ-70	70	4	0,443
2	АВВГ -50	50	8	0,641
3	АВВГ -150	150	9	0,206
4	АВВГ -70	70	12	0,443
5	АВВГ -70	70	6	0,443

Based on the above algorithm, the sequence of electricity consumption is presented. The value of electrical energy losses in the insulation of power transmission lines from conditionally constant losses of electrical energy is presented in Table 2.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Table 2

Line number	Line conductor mark	Number of hours of CL operation, T_p (h)	Cable capacitance, b_{cl} (Cm/km)	The tangent of the dielectric loss angle in the cable, $tg\delta$	Cable insulation aging coefficient, a_{ag}	Electricity losses in CL insulation, ΔW_{cl} (kWh)
1	АВВГ-70	5500	8,2	0,108	0,5	45,3
2	АВВГ -50		3,4	0,108		10,8
3	АВВГ -150		5,73	0,108		70,5
4	АВВГ -70		4,5	0,108		23
5	АВВГ -70		4,5	0,108		10,6
Total			160,2			

The value of no-load power loss in power transformers is given in Table 3.

Table 3

Transformer mark	High voltage, U (kV)	low voltage, U (kV)	Losses of active power of idling of the transformer, ΔP_x (kW)	Losses of active power of idling of the transformer, T_i (h)	Loss of electricity, $\Delta W_{tr.no-load}$ (kWh)
TM-100	10	0,4	0,33	5500	4,6

Electricity losses in meters $\Delta W_m = 18,4$ kWh.

Conditionally constant losses of electricity in the network were calculated using the above formulas:

$$\Delta W_{cc}^{0,38-10} = \Delta W_{cl} + \Delta W_{tr} + \Delta W_m = 160,2 + 4,6 + 18,4 = 183,2 \text{ kWh.}$$

Table 4

Shows the calculated values of electrical energy losses of cable lines depending on the load in the power lines

Mark and section of the cable	current values, I (A)	Number of hours of work, T_p (h)	τ (h)	active resistance, R (Ohm)	ΔP_n (kW)	ΔW_n (thousand kWh)
АВВГ-70	53	5500	4000	1,8	3,7	15
АВВГ -50	32,5			5,1	4	16,3
АВВГ -150	85,8			1,8	10	40,9
АВВГ -70	29,7			5,3	3,5	14
АВВГ -70	34,2			2,6	2,3	9,3
Total				95,5		

Table 5

Shows the calculated values of electrical energy losses depending on the load in transformers

Transformer	S_n , (kVA)	U_n , (kV)	$\Delta P_{sh.ch}$, (kW)	Consumed active electricity per year, W_t , (kWh)	ΔP_{aver} , (kW)	I_{aver} , (A)	K_f	K_z	R, (ohm)	ΔW_{tr} , (MWh)
TM-100	100	10	1,3	400	2	7,2	1,3	0,5	13	10,5

The total energy loss associated with the load is $\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\Sigma, \text{БЭТ}} + \Delta W_n = 95,5 + 10,5 = 106$ thousand kWh.

According to accounting data, the total loss of electricity in this network is $\Delta W = 106.18$ thousand kWh

The annual electricity demand for these meters in this network is $W = 630.7$ thousand kWh. We see that 16.8% of the energy consumed is wasted when calculated according to the recommended methodology.

Literature

1. M. I. Fursanov, A. A. Zolotoi, and V. V. Makarevich. Calculations of technological consumption (losses) of electricity for its transportation in electrical networks of power systems. Minsk: BNTU, 2018. - 111 p.
2. Yu.S Zhelezko, A.V. Artemiev, O.V. Savchenko. Calculation and analysis of electricity losses in electrical networks. Publishing house of NC ENAS 2004.- 280 p.
3. Zhelezko Yu.S. Methods for calculating technical losses of electricity in networks 380/220 V. Electric stations. 2002.No1.
4. Gerasimenko A. A., Kutsenov D. A., Timofeev G. S. Refinement of the technical and commercial components of electricity losses in distribution electrical networks. Electromechanics. 2005. No5. P. 38–43.
5. A.N. Sultanov. "Analysis of electrical energy waste in distribution networks". "Problems of energy and sources saving" journal 2022.
6. M.B. Melikuziev, A.N.Sultanov. "Calculation of electrical energy losses in distribution networks" "Challenging problems of development of energy and resource saving innovative technologies" journal 2022.
7. Taslimov A.D, Melikuziev M.V, Sultanov A.N. "Analysis of calculation methods of electrical energy losses in distribution networks" "Topical issues of energy efficiency of automated electro-mechanical and electrotechnological systems".

Presented by Tashkent State technical university

**К ОПТИМАЛЬНОМУ ПОКРЫТИЮ СУТОЧНОГО ГРАФИКА
НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ И СОЛНЕЧНОЙ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЯМИ****Т.Ш. Гайибов, Б.Х. Муродов**

O'zbekiston Respublikasi elektr energetika tizimiga Quyosh fotoelektr stansiyalarining joriy etilishi bilan ularning holatlarini hisoblash va boshqarishning mavjud model va algoritmlarini bevosita qo'llash mumkin bo'lmay qoladi. Shu sababli mavjud model va algoritmlarni bunday turdagi stansiyalarni etiborga olgan holda takomillashtirish muhim ahamiyatga ega. Ushbu maqolada sutkalik rejalashtirishda energetika tizimining yuklama grafigini issiqlik (IES) va Quyosh fotoelektr (QFES) stansiyalari yordamida qoplashning samaradorligini taqiqi natijalari keltirilgan. Tadqiqotlar energetika tizimining yuklama grafigini nominal quvvati 250 MVt bo'lgan IES va nominal quvvati 100 MVt bo'lgan QFES yordamida qoplash misolida amalga oshirilgan. Xududda yuklamaning sutka davomida tebranishi va bunga mos holda elektr stansiyalarining quvvat ishlab chiqarish grafiklari e'tiborga olingan. QFESning quvvat ishlab chiqarish grafigi xududda sutka davomida quyosh radiatsiyasining o'zgarishiga mivofiq tarzda aniqlangan. Quyosh radiatsiyasining o'zgarishiga mivofiq tarzda ishlab chiqariluvchi quvvatning o'zgarishi bu stansiyaning yuklamasiga teskari yuklama grafigi bo'yicha ishlovchi IES yordamida kompensatsiyalanadi. Energetika tizimida bunday stansiyalar mavjud bo'lgan sharoitlarda IESda salmoqli miqdordagi yoqilg'ini iqtisod qilishga erishish mumkinligi ko'rsatilgan.

С внедрением в энергосистему Республики Узбекистан солнечных фотоэлектрических станций существующие модели и алгоритмы расчета и управления её режимами становятся непосредственно неприменимыми. В связи с этим приходится их усовершенствовать с учетом характеристик и особенностей таких станций. В данной статье приводятся результаты исследования эффективности оптимального покрытия графика нагрузки энергосистемы тепловой (ТЭС) и солнечной фотоэлектрической (СФЭС) станциями при суточном планировании. Исследование выполнено на примере оптимального покрытия суточного графика нагрузки тепловой станцией номинальной мощностью 250 МВт и солнечной фотоэлектрической станцией номинальной мощностью 100 МВт. Учтены суточные колебания нагрузки в регионе и соответствующие суточные графики выработки электроэнергии станциями. Суточный график выработки СФЭС определяется солнечной радиацией в районе в течении суток. Для компенсации изменения вырабатываемой СФЭС мощности используется ТЭС с суточным графиком выработки обратно пропорциональным суточному графику нагрузки СФЭС. Показано, что наличие в энергосистеме таких станций может привести к значительной экономии топлива на ТЭС.

With the introduction of solar photovoltaic stations (SPS) into energy system of the Republic of Uzbekistan, existing models and algorithms for calculating and controlling its modes become directly inapplicable. In this regard, it is necessary to im-

prove them, taking into account the characteristics and features of such stations. This article presents the results of a study of effectiveness of optimal coverage the load schedule by thermal power plants (TPP) and SPS in daily planning. The study was carried out on the example of optimal coverage of the daily load schedule by a thermal plant with a rated power of 250 MW and a solar photovoltaic station with a rated power of 100 MW. The daily fluctuations in the region load and the corresponding daily schedules of electricity generation by stations are taken into account. The daily schedule for the production of SPS is determined by solar radiation in area during the day. To compensate the changes in generating power of SPS during the day, a thermal power plant with a daily output schedule that is inversely proportional to the daily load schedule of the SPS is used. It is shown that the presence of such stations in the power system can lead to significant fuel savings in thermal power plants.

Введение. На сегодняшний день обеспечение электроэнергией потребителей по всему миру за счет возобновляемых источников энергии, в том числе солнечных фотоэлектрических установок, является одним из ключевых вопросов. Основные преимущества использования данного типа станций объясняются эффективным использованием минерально-сырьевых ресурсов. Однако, учитывая, что эффективное обеспечение потребителей электроэнергией является важной задачей, требуется дальнейшее изучение режимов работ таких установок.

В настоящее время в Узбекистане реализуется множество инвестиционных проектов по строительству солнечных фотоэлектрических станций. Это требует решения проблем, связанных с бесперебойным электроснабжением потребителей при минимальных затратах [1]. В данной статье исследуются вопросы оптимального покрытия графика нагрузок потребителей территории, питаемой от ТЭС и солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) мощностью 100 МВт.

Методы. Значение электрической энергии, получаемой от солнечной панели фотоэлектрической установки, рассчитывается классическими методами [2, 3–6]. При этом учитываются средняя солнечная радиация, параметры солнечных батарей и температура окружающей среды. На практике предполагаемый годовой производительный потенциал солнечной фотоэлектрической установки рассчитывается по следующей формуле:

$$E = S \cdot a \cdot R \cdot \rho; \quad (1)$$

где S — общая площадь поверхности панелей, установленных на солнечной фотоэлектрической станции, м^2 ; a — эффективность солнечной панели, R — среднегодовая солнечная радиация, падающая на панели под углом; ρ — коэффициент выработки солнечной системы. Данная формула представляет собой выражения для среднегодовой производимой мощности солнечной фотоэлектрической установки и не учитывает мгновенные производственные процессы.

На солнечных фотоэлектрических станциях генерируемая мощность меняется одновременно с изменением солнечной радиации.

С учетом изменения по времени, согласно формуле (1), получается следующая функция:

$$E(t) = S \cdot a(t) \cdot R(t) \cdot \rho(t). \quad (2)$$

В последнем выражении все параметры, кроме общей площади поверхности солнечных панелей, являются изменчивыми. Таким образом, генерируемые солнечной фотоэлектрической станцией мощности в разных временных интервалах сутки можно определить по формуле (2).

Суточные графики нагрузок строят по показаниям счетчиков активной и реактивной энергии через каждый час, либо каждые полчаса (для выявления получасового максимума нагрузки) [7, 8, 9, 10].

В проектировании используют типовые суточные графики, характерные для конкретного вида производства, в которых максимальная суточная нагрузка принимается за единицу или за 100 %, а остальные нагрузки выражаются в долях единицы, т.е. в относительных единицах или в процентах. Для построения конкретного суточного графика необходимо знать максимальную нагрузку и иметь типовой суточный график.

Суточный график имеет три режимные зоны (рис. 1): базовую - до P_{min} , полупиковую - от P_{min} до P_{cp} , пиковую - от P_{cp} до P_{max} . Электростанции с учетом их технических возможностей размещаются, т. е. несут нагрузку в определенной режимной зоне. Соответственно, их экономические показатели различны в разных зонах графика нагрузки. В базовой зоне выгодно размещать самые экономичные станции. Здесь не будут расходы, связанные с пуском-остановкой и регулированием. Такие станции постоянно загружены на располагаемую мощность. В полупиковой зоне станции участвуют в регулировании нагрузки, и у них должны быть обеспечены такие технические возможности. Время использования их мощности меньше, чем в базовой зоне. В пиковой зоне могут работать только те станции, которые приспособлены к регулированию и могут достаточно часто менять свой режим. Деление суточного графика на режимные зоны весьма условно, но оно позволяет рационально планировать режимы работ электростанций [11, 12, 13–14].

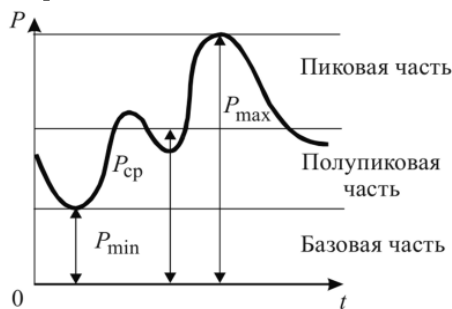


Рис. 1. Режимные зоны графика нагрузки

Для суточных графиков активной и реактивной нагрузок потребителей характерны следующие величины: максимум активной (реактивной) нагрузки за сутки P'_m (Q'_m), кВт (кВАР); максимум активной нагрузки в наиболее загруженной смене P_m , кВт; расход активной (реактивной) энергии за сутки $W_{сут}$ ($V_{сут}$), кВт.ч (кВАР.ч); расход активной (реактивной) энергии за наиболее загруженную смену $W_{см}$ ($V_{см}$), кВт.ч (кВАР.ч).

Используя эти характерные величины и зная общую номинальную мощность всех рабочих электроприемников (P_u , кВт), можно определить характер-

ные для суточных графиков показатели [16], которые используются при решении задачи оптимального покрытия:

Среднюю активную нагрузку за сутки (кВт):

$$P_{сум} = W_{сум}/24. \quad (3)$$

Среднюю активную нагрузку за наиболее загруженную смену (кВт):

$$P_{см} = W_{см}/8. \quad (4)$$

Коэффициент использования номинальной мощности P_n за наиболее загруженную смену:

$$K_u = P_{см}/P_n. \quad (5)$$

Коэффициент мощности в период максимума:

$$\cos \varphi = \frac{P_M}{\sqrt{P_M^2 + Q_M^2}}. \quad (6)$$

Средневзвешенный коэффициент мощности за наиболее загруженную смену

$$\cos \varphi_{с.м} = \frac{W_{с.м}}{\sqrt{W_{с.м}^2 + V_{с.м}^2}}. \quad (7)$$

Коэффициенты заполнения суточных графиков активной и реактивной нагрузки:

$$K_{н.а} = W_{сум}/P'_m 24; \quad (8)$$

$$K_{н.р} = V_{сум}/Q'_m 24. \quad (9)$$

Коэффициент максимума активной нагрузки за наиболее загруженную смену:

$$K_M = P_M/P_{см}. \quad (10)$$

Характеристика исходного режима. Для исследования эффективности СФЭС при покрытии суточного графика нагрузки рассмотрим электрическую систему, схема которой приведена на рис. 2. Выдача мощности фотоэлектрической станцией в систему будет осуществляться по двум двухобмоточным повышающим трансформаторам *ТРДН-63000/230/10,5/10,5* (рис.2).

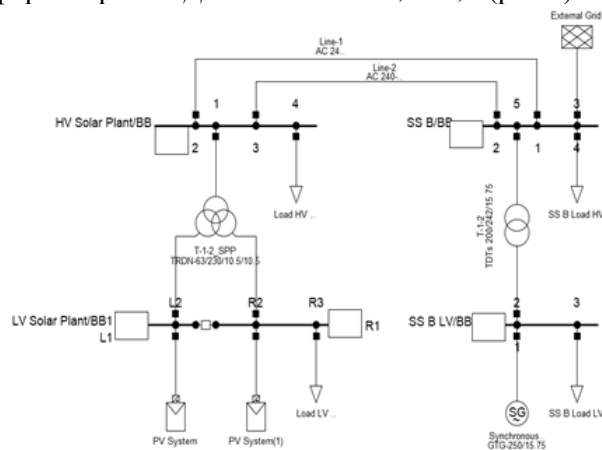


Рис. 2. Схема электрической системы в рассматриваемом районе с ТЭС и СФЭС

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Суммарная установленная мощность станций в районе составляет 350 МВт, в том числе:

- установленная мощность ТЭС: 250 МВт;
- установленная мощность СФЭС: 100 (2x50) МВт;
- суммарная нагрузка потребителей в районе: 150 МВт.

Расходная характеристика ТЭС: $B = 60 + 0,2P_T + 0,0005P_T^2$ т.у.т./ч.

Задача заключается в определении влияния СФЭС на суточный график нагрузки ТЭС и, соответственно, на расход топлива в ней.

Результаты. Расчеты проводились с учетом суточных графиков нагрузок электропотребителей. На рис. 3 представлен баланс мощности в районе без учета влияния графика нагрузки потребителей в течении суток.

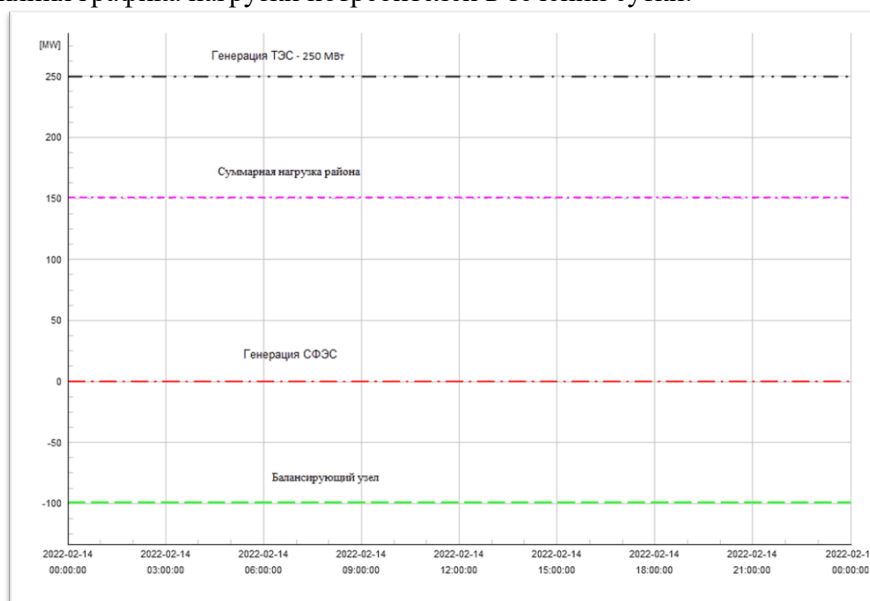


Рис. 3. Баланс мощности в районе без учета влияния графика нагрузки потребителей в течении суток

Таблица 1

Суточный график генерации СФЭС в относительных единицах к номинальной мощности 100 МВт

t	00	01	02	03	04	05	06	07	08
P _{ген} , о.е.	0	0	0	0	0,06	0,24	0,41	0,59	0,77
t	09	10	11	12	13	14	15	16	17
P _{ген} , о.е.	0,88	0,94	1	0,97	0,94	0,83	0,71	0,53	0,35
t	18	19	20	21	22	23	18	19	20
P _{ген} , о.е.	0,18	0,03	0	0	0	0	0,18	0,03	0

Как видно из графика, генерация ТЭС больше, чем нагрузка района. В результате этого из района в систему передается 100 МВт мощности. Суточный расход условного топлива в ТЭС:

$$B_{сут.} = 24 \cdot B(150) = 24 \cdot (60 + 0,2 \cdot 250 + 0,0005 \cdot 250^2) = 3390,0 \text{ т.у.т.}$$

На практике суточные графики нагрузок СФЭС и потребителей в течении суток изменяются. Для исследования эффективности использования СФЭС, рассмотрим совместную работу СФЭС и ТЭС для покрытия характерного суточного графика нагрузки потребителей. В табл. 1 и на рис. 4 приведен суточный график генерации СФЭС.

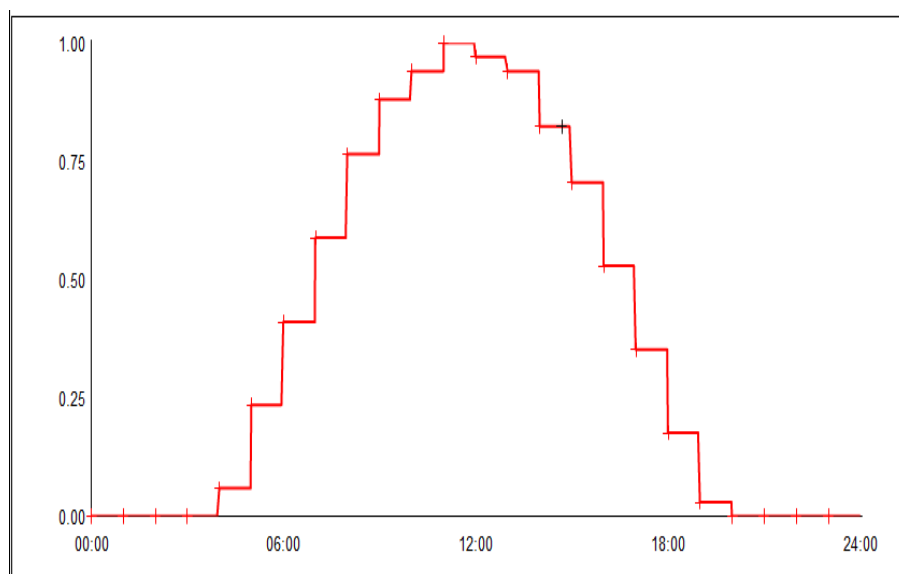


Рис. 4. Суточный график генерации СФЭС

Для обеспечения баланса генерации в районе, при работе СФЭС с неполной мощностью, вплоть до остановки, необходимо установить на ТЭС регулировочный генератор, работающий с обратным суточным графиком СФЭС. В рассматриваемом случае такой генератор должен обеспечивать возможность быстрого изменения мощности от 150 до 250 МВт. В табл. 2 и на рис. 5 приведен суточный график регулировочного генератора на ТЭС.

Таблица 2

Суточный график регулировочного генератора, работающего с обратным суточным графиком СФЭС в относительных единицах номинальной мощности 100 МВт

t	00	01	02	03	04	05	06	07
$P_{ген. о.е.}$	1	1	1	1	0,98	0,91	0,84	0,76
t	08	09	10	11	12	13	14	15
$P_{ген. о.е.}$	0,76	0,65	0,62	0,6	0,6	0,6	0,67	0,72
t	16	17	18	19	20	21	22	23
$P_{ген. о.е.}$	0,72	0,86	0,93	0,99	1	1	1	1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

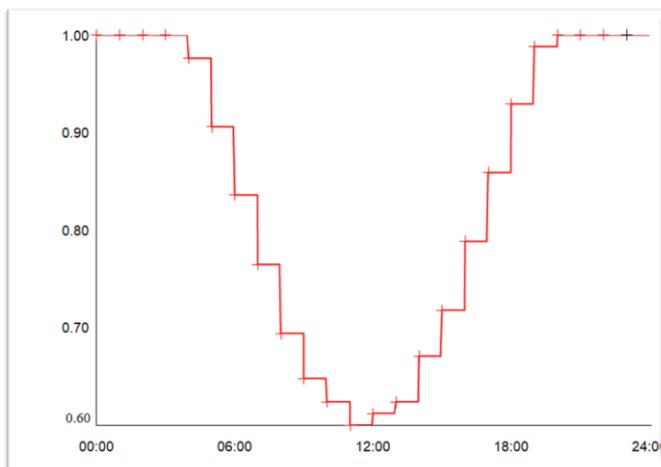


Рис. 5. Суточный график нагрузки регулировочного генератора ТЭС

В табл. 3 и на рис. 6 приведен суточный график нагрузки электропотребителей.

Таблица 3

Суточный график нагрузки потребителей в относительных единицах
к номинальной мощности 150 МВт

t	00	01	02	03	04	05	06	07
$P_{ген} \text{ o.e.}$	0,5	0,45	0,4	0,3	0,45	0,5	0,6	0,85
t	08	09	10	11	12	13	14	15
$P_{ген} \text{ o.e.}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85	0,7	0,75	0,8
t	16	17	18	19	20	21	22	23
$P_{ген} \text{ o.e.}$	0,85	0,9	1	1	1	0,9	0,8	0,75

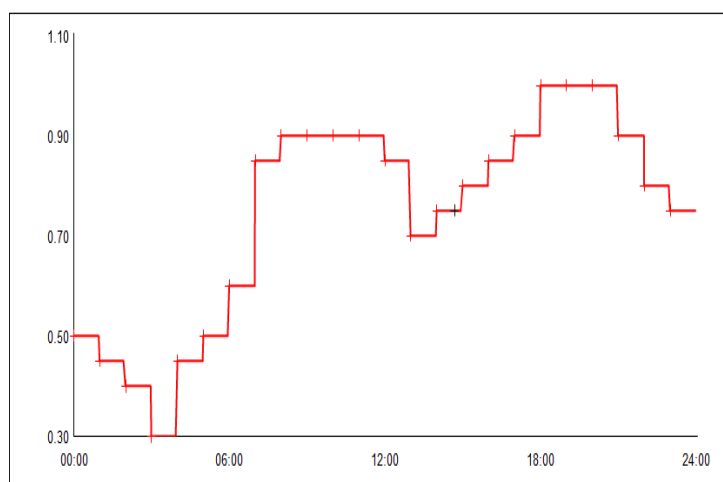


Рис. 6. Суточный график нагрузки электропотребителей

Согласно приведенным выше графикам, суточный баланс мощности в районе представлен в виде графика для случаев без учета (рис. 7) и с учетом

(рис. 8) СФЭС. В таблице 4 даны суточный график генерации ТЭС с учетом обеспечения ей баланса мощности.

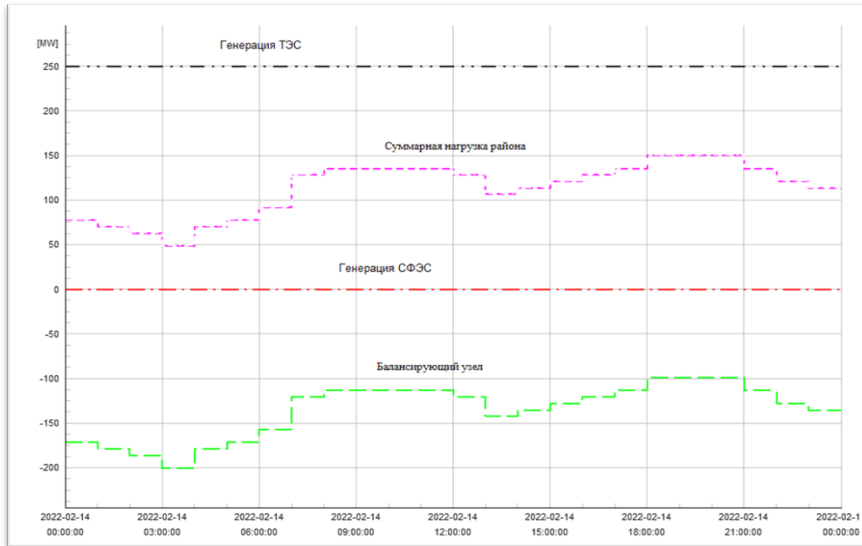


Рис. 7. Баланс мощности без учета СФЭС

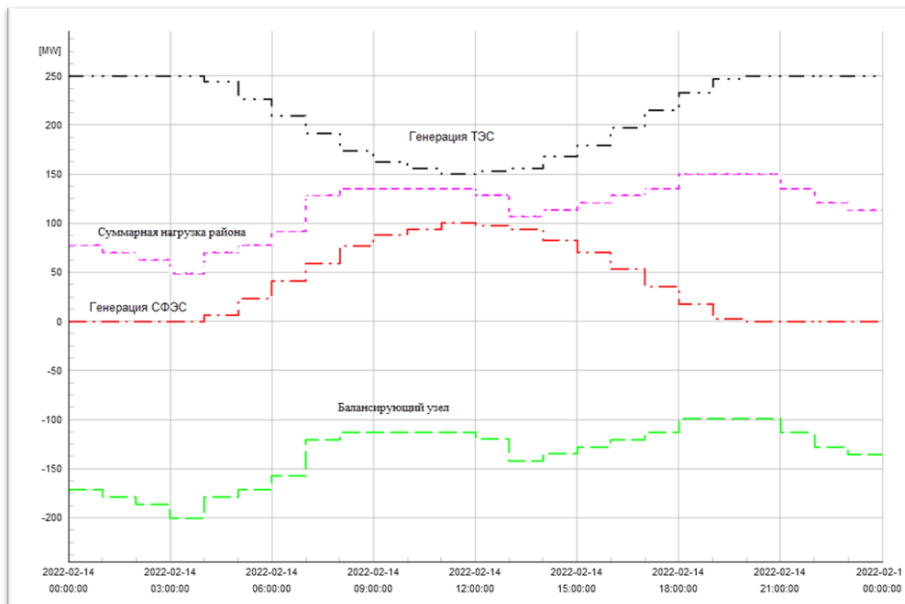


Рис. 8. Баланс мощности с учетом СФЭС

Как видно из графиков, СФЭС оказывает существенное влияние на суточный график нагрузки ТЭС. Генерация ТЭС изменяется обратно пропорционально графику СФЭС. В результате суточный график передаваемой в систему мощности остается без изменения, как при отсутствии СФЭС.

Таблица 4

Суточный график генерации ТЭС с учетом обеспечения ею баланса мощности в относительных единицах (к номинальной мощности 250 МВт)

t	00	01	02	03	04	05	06	07
$P_{ген, о.е.}$	1	1	1	1	0,98	0,91	0,84	0,76
t	08	09	10	11	12	13	14	15
$P_{ген, о.е.}$	0,7	0,65	0,62	0,6	0,6	0,6	0,67	0,72
t	16	17	18	19	20	21	22	23
$P_{ген, о.е.}$	0,79	0,86	0,93	0,99	1	1	1	1

Определяем суточный расход условного топлива в ТЭС при наличии в системе СФЭС, работающей по приведенному выше графику:

$$\begin{aligned}
 B_{сут.} &= 8 \cdot B(250) + B(150 + 98) + B(150 + 91) + B(150 + 84) + B(150 + 76) + \\
 &+ B(150 + 70) + B(150 + 65) + B(150 + 62) + 3 \cdot B(150 + 60) + B(150 + 67) + \\
 &+ B(150 + 72) + B(150 + 79) + B(150 + 86) + B(150 + 93) + B(150 + 99) = \\
 &= 3225,823 \text{ т.у.т.}
 \end{aligned}$$

Таким образом, экономия в суммарном расходе условного топлива в ТЭС за сутки от использования СФЭС составляет

$$\Delta B = 3390,0 - 3225,823 = 164,177 \text{ т.у.т. или } 4,9\%.$$

Выводы. 1. В работе исследована эффективность использования СФЭС при оптимальном покрытии суточного графика нагрузки потребителей энергосистемы, содержащей расчетную ТЭС.

2. Использование СФЭС в энергосистемах позволяет, значительно сократить расходы топлива на тепловых электростанциях за счет их разгрузки в дневные часы суток.

Литература

1. Tulkin Gayibov, 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> CONMECHYDRO - 2021. – p. 1-8.
2. Бекиров Э.А., Асанов М. М., Алькаата А. Оптимизация режимов работы систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. // Строительство и техногенная безопасность №13(65) – 2018. – С. 107–111.
3. Н. Yang, L. Lu, W. Zhou. Optimization of hybrid renewable energy power systems: A review. – 14.01.2015. – p. 2-4.
4. Kazuhiko Ogimoto. Power system operation planning with PV integration/ IEA PVPS Task 14, Subtask 3 Report IEA-PVPS T14-04: 2014 Nov 2014. p. 40-43.
5. Tansu Filik, Ümmühan Başaran Filik, and Ömer Nezih Gerek, Solar radiation-to-power generation models for one-axis tracking PV system with on-site measurements from Eskisehir, Turkey // E3S Web of Conferences 22, 00046 (2017), doi: 10.1051/e3sconf/20172200046.
6. В.Г. Сазыкин, А.Г. Кудряков. Расчет электрических нагрузок в системах электроснабжения АПК. - Краснодар 2017- С-20–29.

7. S. Nikolova, A. Causevski, A. Al-Salaymeh. Optimal operation of conventional power plants in power system with integrated renewable energy sources/ Energy Conversion and Management/ journal homepage: www.elsevier.com/locate/encon. – 05.05.2012. – p. 697-703.

8. Гуртовцев А. Электрическая нагрузка системы. Выравнивание графика / А. Гуртовцев // Новости электротехники. – 2008. – № 5. – С. 31–37.

9. Маляренко В. А. Неравномерность графика нагрузки энергосистемы и способы ее выравнивания / В. А. Маляренко // Светотехника и электроэнергетика. – 2011. – № 4. – С. 61–66.

10. Т.В. Алферова, В.В. Бахмутская, А.Ю. Гуз Разработка программы по расчету условий оптимального горизонтального маневрирования электрической нагрузкой с целью снижения пиковой мощности в среде delphi/ Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь – 2013. – С. 101–109.

11. В.А. Маляренко, И.Е. Нечмоглод. Неравномерность Графика Нагрузки Энергосистемы И Способы Ее Выравнивания/Світлотехніка Та Електроенергетика – 2011. – С. 61–66.

12. В.Б. Шлейников. Графики Электрических нагрузок/ Оренбургский государственный университет – 2011. – С. 7–9.

13. Liang RH, Liao JH. A fuzzy-optimization approach for generation scheduling with wind and solar energy systems. IEEE Trans Power Syst 2007;22(4): 1665–74.

14. Bo Ming, Pan Liu, Lei Cheng, Yanlai Zhou, Xianxun Wang. Optimal daily generation scheduling of large hydro–photovoltaic hybrid power plants. 01.06.2018. – p. 537-538.

15. Xu Deng, Tao Lv. Power system planning with increasing variable renewable energy: A review of optimization models/ Journal Pre-proof. 19.10.2019. – p. 20-21.

16. А.М. Ершов. Системы электроснабжения. Часть 2 Электрические нагрузки компенсация реактивной мощности/Учебное пособие. Челябинск 2017. С. 77–78.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ
УСТРОЙСТВ

Б. Абдуллаев, М.У. Идрисходжаева, Х.Э. Холбутаева

Мақолада қурилмаларнинг хатоликлар манбаларини тизимлаштириши, таҳлил қилиши ва тузатиши мақсадида, хусусан, иккиламчи электр энергия манбаи бўлган (ТТҚМТК) пассив ночизиқли элементлар асосида ишлаб чиқилган ўзгармас ток манбалари занжирларининг кучланишига қараб қурилманинг "сабаб-оқибат графи" (СОГ) дан фойдаланган ҳолда тақлиф қилинаётган услубият соддалиги ва аниқлиги билан ажралиб туриши келтирилган. Нафақат аниқлик хусусиятларига эга бўлишига, балки, энг муҳими, хатолик манбаларини мақсадли тузатишига йўналтирилган аниқ ночизиқли асбобларни таҳлил қилиши ҳали ҳам жиддий услубий қийинчиликларга дуч келмоқда. Бу тегишли муҳандислик ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишига ва мураккаб ночизиқли қурилмаларни лойиҳалашга тўсқинлик қилади.

В статье приводится систематизация, анализ и коррекция источников погрешностей устройств, в частности вторичных источников электропитания (быстродействующий магнитно-транзисторный квадратор (БМТК)), разработанные на базе пассивных нелинейных элементов с питанием от источника постоянного тока. Нами предлагается методика, отличающаяся простотой и наглядностью - использующая построение «причинно-следственного графа» (ПСГ) устройства по напряжениям участков его цепей. Анализ конкретных нелинейных устройств, направленный не только на получение их точностных характеристик, но, что самое главное, на целенаправленную коррекцию источников погрешностей, встречает и сейчас серьезные методические трудности. Это тормозит разработку соответствующих инженерных методик расчетов и проектирования сложных нелинейных устройств.

The article provides a systematization, analysis and correction of error sources of devices, in particular, secondary power supplies (high-speed magnetic transistor quadrator) developed on the basis of passive nonlinear elements powered by a direct current source. We propose a technique that is simple and clear - using the construction "cause-and-effect graph" of the device according to the voltages of sections of its circuits. The analysis of specific essentially non-linear devices, aimed not only at obtaining their accuracy characteristics, but, most importantly, at the targeted correction of error sources, still encounters serious methodological difficulties. This hinders the development of appropriate engineering methods for calculating and designing complex nonlinear devices.

Введение. При детермированном анализе погрешностей устройств с учетом лишь отдельных источников погрешностей, принимаемых за определяющие в зависимости от режима и структуры устройств, получили распространенные частотные методы. Этот подход не дает удовлетворительных результатов

при оценке погрешностей ФП, построенных на базе нелинейной индуктивности при конкретных несинусоидальных входных сигналах. Теория точности непрерывных систем и фундаментальные формулы погрешностей позволяют достаточно просто анализировать зависимости выходных параметров от входных. Если же эти зависимости неизвестны, то применяют аналитические и экспериментальные способы определения коэффициентов чувствительности.

В качестве априорной информации для построения ПСГ используются данные о структуре многосвязных цепей, а также законы электрических цепей и алгебры логики. При этом понятие «направление» связано с направленностью преобразования на каждом участке цепей устройства, в соответствии с принципом «причина-следствие».

Построение «причинно-следственного графа». Построения ПСГ устройства осуществляется в следующей последовательности.

1. Определяются вершины графа, которыми являются напряжения (или токи участков цепей) источников входных и выходных сигналов, питания, задающих генераторов и участков цепей устройства.

2. Выявляется «причинно-следственный» характер передачи информации от вершины к вершине в соответствии с направленностью преобразования сигналов.

3. Выделяются информативные и неинформативные вершины графа в зависимости от их участия (непосредственного или косвенного) в передаче информации.

4. Строится граф с учетом внешних возмущающих факторов в виде «фиктивных» вершин, направленных к основным вершинам графа [1].

Исследование точностных характеристик БМТК с помощью ПСГ проведем при следующих допущениях:

а) вершины ПСГ являются источниками погрешностей БМТК и образуют систему множеств погрешностей:

$$\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m\}; \quad (1)$$

б) любые два множества погрешностей, например, Π_1 и Π_2 являются непересекающимися, т.е.:

$$\forall \Pi_1 \in \Pi, \quad \forall \Pi_2 \in \Pi: \Pi_1 \neq \Pi_2 \rightarrow \Pi_1 \cap \Pi_2 = \Phi; \quad (2)$$

в) объединение всех множеств источников погрешностей, входящих в разбиение, дает множество M , т.е.:

$$\bigcup_{\Pi_i \in \Pi} \Pi_i = M. \quad (3)$$

Исследование точностных характеристик быстродействующего магнитно-транзисторного квадратора. Предлагаемую методику определения источников погрешностей и её использование для анализа погрешностей рассмотрим на примере исследования точностных характеристик БМТК, разработанных на базе нелинейной индуктивности.

В качестве исходных данных при рассмотрении погрешностей БМТК являются [6] принцип его действия, физические процессы и логические взаимосвязи между его элементами. На их основе на рис.1 построен искомым ПСГ. Его

особенностью является то, что в нем отсутствуют петли в вершинах, т.е. вершина графа не может быть одновременно причиной и следствием в процессе преобразования сигнала [2].

В этом случае инцидентор графа P однозначно определяется заданием двух предикатов: $I^+(U_i, a)$ и $I^-(U_i, a)$, где $I^-(U_i, a)$ -дуга « a » исходит из вершины U_i , а $I^+(U_i, a)$ -дуга « a » заходит из вершину U_j . Для трехместного предиката P графа имеем:

$$P(U_i, a, U_j) \Leftrightarrow [U_i \neq U_j \ \& \ I^+(U_i, a) \ \& \ I^-(U_i, a)]; \quad (4)$$

где \Leftrightarrow -логическая равносильность, $\&$ -логическое умножение.

При этом для ПСГ БМТК справедлива следующая система высказываний

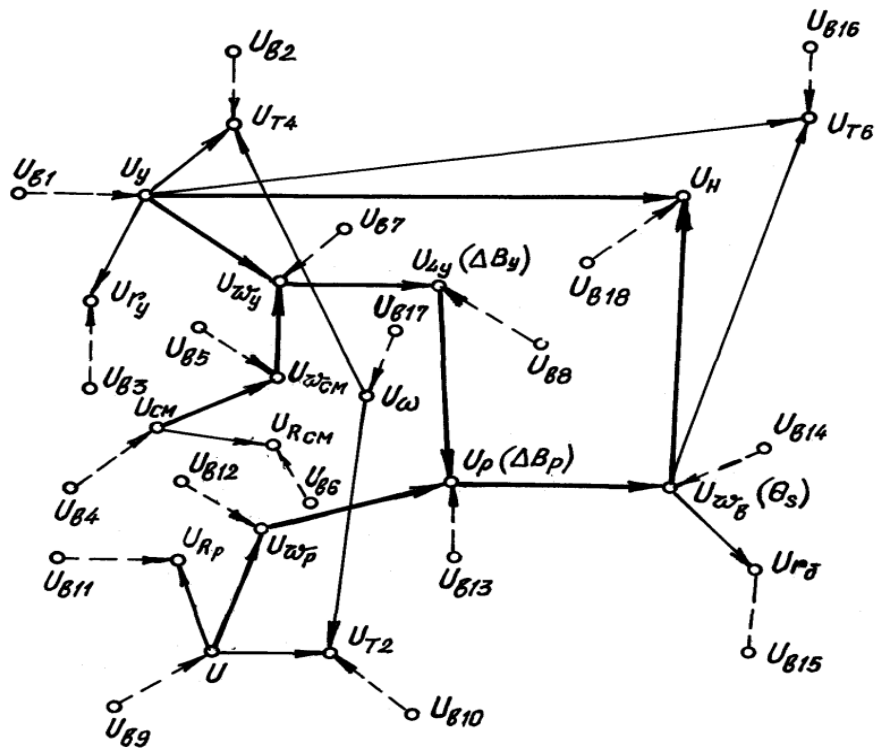


Рис. 1. Причинно-следственный граф квадратора

(без учета «фиктивных» вершин графа):

$$\begin{aligned} U_y &\Rightarrow U_{wy} \vee U_{ry} \vee U_{T4}; \\ U_{wy} \vee U_{wcm} &\Rightarrow U_{Ly}(\Delta B_y); \\ U &\Rightarrow U_{wp} \vee U_{Rp} \vee U_{T2}; \\ U_{wp} \ \& \ \vee U_{Ly}(\Delta B_y) &\Rightarrow U_{Ly}(\Delta B_y); \\ U_{Ly}(\Delta B_y) &\Rightarrow U_{ws}(\theta_s); \\ U_y \ \& \ U_{ws}(\theta_s) &\Rightarrow U_H \vee U_{T6}; \end{aligned} \quad (5)$$

где обозначены: \Rightarrow , \vee -соответственно знаки логических импликаций и сложения.

Система высказываний (5), отображающая связи вершин графа, является эквивалентами системы уравнений, описывающих физические процессы в БМТК.

При помощи ПСГ БМТК удобно выделить следующие источники погрешностей:

1. Источники погрешностей, возникающие при прямой передаче сигнала. Их составляет множество Π_1 вершин графа, т.е.

$$\Pi_1 = \{U_{w_y}, U_{L_y}, U_{w_p}, U_p, U_{w_b}, U_{w_{cm}}, U_H\} \quad (6)$$

2. Источники погрешностей, возникающие в неинформативных вершинах графа, их составляет множество Π_2 вершин:

$$\Pi_2 = \{U_{T_4}, U_{r_y}, U_{R_p}, U_{T_2}, U_{r_b}, U_{R_{CM}}, U_{T_6}\}. \quad (7)$$

3. Источники погрешностей, возникающие из-за неидеальности входных и задающих вершин маршрутов графа, их составляют множество Π_3 вершин:

$$\Pi_3 = \{U_y, U_{CM}, U_\omega, U\} \quad (8)$$

4. Источники погрешностей, возникающие из-за «фиктивных» вершин графа, отображающих внешние возмущающие факторы. Их составляет множество Π_4 вершин (вводимые фиктивно на вершины ПСГ):

$$\Pi_4 = \{U_{b1}, U_{b2}, \dots, U_{b18}\}. \quad (9)$$

Первые два множества Π_1 и Π_2 являются источниками инструментальной погрешности, Π_3 - источником трансформированной погрешности, а Π_4 - источником дополнительной погрешности БМТК [3].

Погрешности, возникающие при прямой передаче информации, вызваны несовершенством технологического процесса изготовления участков цепей (несовершенно изготовления сердечников БМТ, неидентичность параметров сердечников, транзисторных ключей, удельных сопротивлений обмоток, сопротивления нагрузки и т.д.) [5].

Погрешности, возникающие в неинформативных вершинах графа, вызваны элементами цепей устройства [3], которые не участвуют непосредственно в преобразовании и передаче информации в соответствии с принципом «причина - следствия». В БМТК источниками этих погрешностей являются сопротивления [4]: перехода эмиттер – коллектор транзисторных ключей T_2 , T_4 , T_6 при их насыщении (или их конечное сопротивление в режиме отсечки), рабочей и управляющей цепей базового БМТУ (R_p и r_y), а также цепи смещения и базовой цепи выходного транзисторного ключа. Сюда же можно отнести погрешности, возникающие за счет паразитных параметров цепей (межвитковые емкости обмоток, индуктивности рассеяния, сопротивления утечек, внутренние шумы радиоэлектронных элементов и т.д.) [5].

Погрешности, возникающие за счет множества Π_3 вершин, вызваны результатами неточного ввода входных и задающих сигналов, а также из-за неидеальности источников смещения и питания, которые, трансформируясь, вызывают на выходе устройства определенную погрешность. Погрешности, источ-

ником которых является множество P_4 вершин, вызваны отклонением условий работы устройства от нормальных и составляют дополнительную погрешность устройства.

Таким образом, другим источником погрешностей может быть множество теоретических допущений, которые определяют методическую погрешность функционального преобразователя (ФП). Например, при построении ПСГ БМТК учтены паразитные параметры (межвитковые емкости обмоток, индуктивности рассеяния и т.д.). Методическая погрешность ФП появляется и в результате определенных теоретических допущений в формуле моделируемой функции, и из-за приближений, допускаемых при проектировании устройства. Методические погрешности возникают и в процессе измерения из-за несовершенства метода измерения. Эти источники погрешностей не зависят от качества изготовления ФП, они одинаковы для всех образцов данного типа.

Литература

1. Абдуллаев Б., Миловзоров В.П. Анализ и коррекция погрешностей магнитно-транзисторных функциональных преобразователей с помощью графов. //Изв. ВУЗов – «Приборостроение», 1978, -№9. –С 16-19.
2. Абдуллаев Б.А. Об эквивалентной электромагнитной емкости нелинейной индуктивности// Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана», 2009. -№4, – С. 143-146.
3. Абдуллаев Б.А., Алимов А.А., Холбутаева Х.Э. Энергетические характеристики и эквивалентные параметры нелинейной индуктивности. /Труды 7-Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». - Благовещенск. 2013. – С. 130-131.
4. Абдуллаев Б, Холбутаева Х.Э., Идрисходжаева М.У. Магнитно-транзисторные параметрические стабилизаторы постоянного напряжения с повышенной энергосберегающей характеристикой. -Москва, //Ежемесячный научный журнал “Евразийский союз ученых”. 2019. -№ 3,
5. Абдуллаев Б. Обобщенные модели пассивных нелинейных элементов электрических цепей и систем. Монография. ТашГТУ. 2015.
6. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. – Москва:Высшая школа, 1977. – 343 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ**Х.А. Шамсиев, А.Т. Мирзаев**

Мақолада энергетика тизимларини ривожлантириши масалалари, энергоресурслар билан таъминлаш муаммолари баён қилинган. Муқобил энергия манбаларини ривожлантиришини тезлаштиришини талаб этувчи шартларни баҳолаш келтирилган. Қайта тикланувчан энергия манбаларини энергетика тизимини бошқарувчанлигига таъсири ва уларни энергетика соҳасига тадбиқ этишининг иқтисодий аспектилари кўриб чиқилган. Энергияни аккумуляциялаш тизимларини ва уларни энергетика тизимининг иш режимини турғунлигини ва бошқарувчанлигини ошириши учун қўллаш имкониятларининг таҳлили келтирилган. Энергия сақлашни иқтисодий нуқтаи назардан тўғри келадиган тизимларини аниқлаш мақсадида энергия жамлагичларни қуриши учун ҳаражатларни баҳолаш бажарилган. Ростловчи станцияни қуриши учун доимий ҳаражатларни ҳисоблаш ишлари ўтказилган.

В статье изложены вопросы развития энергосистем, проблемы обеспечения энергоресурсами. Приведена оценка условий, требующих ускорение развития альтернативных источников энергии. Рассмотрены вопросы влияния возобновляемых источников энергии на управляемость энергосистем, а также экономические аспекты их внедрения в энергетическую отрасль. Приведен анализ систем аккумуляирования энергии и возможности их применения для повышения устойчивости режима работы и управляемости энергосистемы. Выполнена оценка затрат на строительство накопителей энергии в целях определения подходящих систем хранения энергии с экономической точки зрения. Проведены расчеты постоянных затрат на строительство регулирующей станции.

The article outlines the development of energy systems and the problems of energy supply. The assessment of conditions requiring accelerated development of alternative energy sources is given. The influence of renewable energy sources on energy system controllability and economic aspects of their introduction into the energy sector are reviewed. The analysis of energy storage systems and possibilities of their application for increase of stability of an operation mode and controllability of power system is given. The costs of building energy storage systems have been assessed to identify suitable energy storage systems from an economic point of view. The fixed costs of building a regulating station have been calculated.

В свете событий, произошедших в мире в последнее время вопросы обеспечения энергетической безопасности стран, приобретает очень важное значение. Как показывает опыт европейских стран - нельзя развивать промышленность не имея четких, гарантированных решений по обеспечению энергоресур-

сами. Погоня за «зеленой энергетикой» и отказ от традиционных источников энергии, а также от атомной энергетики показали серьезные изъяны при планировании развития энергетической отрасли Европы и других стран в части надежного энергоснабжения промышленности и населения.

Запасы органического топлива – угля и газа не безграничны, в любом случае необходимо развивать другие источники энергии, в том числе и атомную энергетику. При том, что развитие атомной энергетики, несмотря на новейшие технологии «3++», всё равно оставляют вопросы по обеспечению безопасности этого источника. Так, по статистике на территории СНГ в год происходят не менее 4-5 аварийных отключений энергоблоков на атомных станциях, и никто не может определенно гарантировать отсутствие технологических и экологических проблем в результате этих отключений.

В этом ключе, направление на развитие альтернативной энергетики полностью оправдывает себя и выступает в качестве основного энергоисточника будущего. Однако, как показали последние события в Европе и США, не все так безоблачно в этой сфере. Безумная гонка за «Энергетикой будущего» в западных странах поставила их в тяжелые условия в сферах обеспечения устойчивости и надежности работы энергосистем. Масштабное внедрение солнечных фотоэлектрических и ветровых станций, которые катастрофически зависят от капризов погоды, привело к потере управляемости, как основного способа обеспечения устойчивости работы энергосистем. В настоящее время разрабатываются различные методы прогнозирования выработки возобновляемых источников энергии: на сутки вперед, на час вперед и даже на 15 минут вперед. Создаются и уже эксплуатируются множество видов систем хранения энергии. Наиболее современными из них в настоящее время являются системы хранения энергии на аккумуляторных батареях. При этом во всех литературных источниках приводится, что цены на них падают; прогнозируют, что в скором времени они станут ещё дешевле. Несмотря на все это инвесторы, которые занимаются возведением ветропарков и солнечных фотоэлектрических станций не очень спешат вводить их в состав своих объектов.

Что делать, в каком направлении необходимо развиваться, если традиционные источники экологически вредны, да и ресурсов не у всех хватает, альтернативные ВИЭ не очень надежны и сложно прогнозируемые, а атомные станции небезопасны. Как известно, истина всегда где-то в середине. Поэтому для решения данного вопроса требуется комплексный подход.

В последнее время при планировании развития энергосистем и определении структуры источников генерации основной упор делается на экономические составляющие, т.е. по наименьшим затратам. Это логично, затраченные деньги должны вернуться, иначе какой инвестор будет туда вкладываться. В результате для инвестора создаются максимальные преференции и льготы, чтобы тариф на продажу электрической энергии он не завышал, чтобы инвестиции шли на энергетическую отрасль. Инвестор благополучно строит и продает свое электричество с шин собственной станции на условиях «бери и плати» и его не интересуют режимы работы энергосистемы. При этом упускается из виду основное требование для энергосистемы – надежное энергоснабжение потребителей и обеспечение устойчивости работы энергосистемы. Как показывает опыт европейских стран и «блекаут», произошедший 25 января текущего года в энергосистеме Уз-

бекистана, последствия не учета этих требований может привести колоссальным ущербам.

В этих условиях необходимо развивать способы обеспечения устойчивости и управляемости энергосистемы. Нужен разумный подход по определению сочетания источников генерации, их размещения по территории страны, исходя из топливообеспеченности, инфраструктуры, возможности доставки электричества до конечного потребителя, и увеличение доли возобновляемых источников энергии в структуре генерации без ущерба устойчивости работы энергосистемы.

Для обеспечения нормального функционирования и управляемости энергосистемы при изменениях мощности, как выработки, так и потребления, необходимо в каждый момент времени обеспечивать их баланс, т.е. все время покрывать неравномерность графика нагрузки. Для этого нужны электрические станции с возможностью быстрого набора мощности. Обычно в энергосистеме резкие и значительные изменения потребления мощности происходят в утренние и вечерние часы, в так называемые «пики нагрузки», когда потребление электрической энергии растет. Это в основном связано с бытовой и осветительной нагрузкой. С внедрением возобновляемых источников энергии появляются также резкие изменения выработки мощности, связанные с изменением погодных условий. Для покрытия указанных колебаний мощности и обеспечения баланса производства и потребления электрической энергии применяются пиковые, маневренные электрические станции или, как сейчас их называют - «гибкая генерация».

Что такое пиковая электростанция? Это электростанция, её часть или все агрегаты которой работают тогда, когда потребление электроэнергии в энергосистеме резко возрастает на короткое время - при пиках нагрузки. Агрегаты пиковой электростанции должны обладать высокой эксплуатационной маневренностью, способностью в короткий срок, иногда за 2—3 мин, развивать полную мощность и так же быстро останавливаться. Пиковыми электростанциями в энергосистемах могут служить обычные гидроэлектрические станции и газотурбинные электростанции, а также тепловые паротурбинные электростанции, приспособленные для такого режима работы [1].

Целесообразно применение пиковых электростанций аккумуляторного типа, которые способны в ночные часы, когда потребление электроэнергии незначительно, запасать энергию, создавая нагрузку базисным паротурбинным электростанциям, а в дневные часы - выдавать запасённую энергию для покрытия пиков нагрузки. К таким электростанциям относятся гидроаккумуляторные электростанции (ГАЭС), а также газотурбинные установки, работающие с использованием воздуха, нагнетаемого в ночные часы и сохраняемого под давлением в ёмкостях с непроницаемой оболочкой, например, в подземных выемках [1].

Современные пиковые электростанции одновременно выполняют функции резервных установок, они автоматизированы и управляются на расстоянии из диспетчерского пункта.

Один из способов решения проблемы неравномерности графика нагрузки является аккумуляция излишков энергии, вырабатываемой вовремя ее ночных минимумов нагрузки с последующим ее использованием во время максимума

нагрузки. Существуют различные типы накопителей (аккумуляторов) энергии. К примеру, в энергетике распространение получили накопители, запасующие механическую энергию, тепловые аккумуляторы и другие.

Например, воздушные аккумуляторы используют избыточную энергию, вырабатываемую в ночное время для сжатия и хранения воздуха в воздухопроницаемом подземном резервуаре или пещере. В США эксплуатируется воздушный аккумулятор мощностью 110 МВт, что вполне сравнимо с мощностью энергоблоков современных ТЭЦ. Достаточно широкое распространение для выравнивания графика нагрузки получили ГАЭС, мощность которых в генераторном режиме может достигать двух тысяч МВт.

В Московском регионе имеется Загорская ГАЭС мощностью 1200 МВт. Весьма перспективным может оказаться применение для накопления механической энергии маховиков. По мнению ученых ВНИИАЭС, не исключена возможность, что в будущем применение больших кольцевых супермаховиков для аккумулирования энергии, вырабатываемой на тепловых и атомных электростанциях, что позволит обеспечить их работу исключительно в базовом режиме, а это, в свою очередь, позволит увеличить коэффициент использования установленной мощности. Тепловые аккумуляторы являются эффективным средством управления графиком нагрузки, но их применение ограничивается лишь отопительным периодом [1-6].

Многолетний опыт эксплуатации электрогенерирующего оборудования электростанций показал, что покрытие базовой части суточного графика нагрузки наиболее экономично обеспечивать за счет АЭС или ТЭС, работающих главным образом в базовой части графика нагрузки энергосистемы из-за затруднений регулирования их мощности; ТЭЦ, работающих максимально экономично тогда, когда их электрическая мощность соответствует тепловому потреблению; ГАЭС, использование мощности, которых не должно превышать возможности минимального пропуска воды, необходимого по санитарным требованиям. При этом покрытие пиковой части суточного графика нагрузки, как правило, обеспечивается за счет агрегатов ГАЭС и ГАЭС (если их мощность достаточна), допускающих частые включения и отключения, а также быстрые изменения нагрузки.

Очевидно, что чем неравномернее график нагрузки энергосистемы, тем большая мощность ГАЭС и ГАЭС потребуется для обеспечения экономичной работы остальных генерирующих агрегатов электростанций без резкого снижения их нагрузки в ночные часы, а также в выходные и предпраздничные дни, или отключения части таких агрегатов в эти часы.

В настоящее время известен ряд практически применяемых или разрабатываемых систем аккумулирования электроэнергии: электрические аккумуляторы (кислотные и щелочные); сверхпроводящие, плазмоидные, конденсаторные аккумуляторы; индуктивные, электрохимические, инерционные (маховичные) и пневматические накопители. Для регулирования электрических режимов энергосистем требуются системы аккумулирования с мощностью, соизмеримой с мощностью самих энергосистем, а время их работы с полной мощностью должно исчисляться часами.

Проблема аккумулирования энергии сейчас является одной из ключевых для всей мировой энергетике. Современные технологии способны обеспечить достаточный уровень генерации, однако отсутствие экономически эффективных

технологий хранения остается, и оно ограничивает возможности трансформации сектора [5-7].

Мир уже в конце XIX века освоил технологию хранения энергии: сейчас ежегодно в мире в строительство новых гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) вкладывается \$7–10 млрд, их общая установленная мощность — более 300 ГВт [2,3,4-10].

Однако повсеместному внедрению технологии ГАЭС мешает несколько фундаментальных проблем. Проблема первая — необходимость подбора естественного рельефа с большим перепадом высот. Проблема — потребность затопить огромную площадь под озеро (площадь только верхнего бассейна Загорской ГАЭС в Подмоскowie — около 2,6 кв. км), что ведет как к снижению КПД из-за испарения воды, так и к локальным экологическим последствиям.

Мировая энергетика пытается найти другие решения по хранению энергии, более простые с инженерной точки зрения и меньшей мощности, чем ГАЭС. По прогнозам мирового аналитического агентства - Navigant Research, к 2025 году суммарная установленная мощность систем накопления энергии в мире увеличится, по отношению к 2016 году, почти в 20 раз — до 22 ГВт (без учета ГАЭС; среднегодовой рост — 38,7%). Мировой рынок систем накопления энергии к 2025 году достигнет \$75 млрд, если брать в расчет накопители на электро-транспорте [2, 5, 9, 10].

За последние несколько лет в мире произошли два события, усилившие значимость систем хранения в энергетике. Во-первых, увеличение мощности ВИЭ привело к проблемам с регулированием частоты. В Германии произошла авария с системными последствиями из-за сильного ветра на Северном море и работы ветропарков на полную мощность.

Выработка возобновляемых источников непредсказуема, их диспетчеризация невозможна. Из-за этого страдает экономика: например, немцы вынуждены платить соседям за потребление энергии с немецких ВЭС в случае избыточной выработки. При наличии доплаты энергетика соседних стран запасают ее на собственных ГАЭС. В Великобритании дошло до того, что в некоторых районах владельцам ветряков доплачивают, чтобы их не включали в сеть в отдельные часы [7-12].

Второй мощный сигнал для инвесторов — первые крупные заказы на системы централизованного хранения энергии. Так, Калифорния около двух лет назад провела тендер на строительство 1,3 ГВт хранения за счет любых решений. Подобные заказы свидетельствуют, что технологии промышленного хранения будут неизбежно развиваться и пользоваться спросом [10-14].

Появление большого количества накопителей фундаментально меняет саму энергосистему. Пока для регулирования частоты диспетчер закладывает большой резерв мощностей, чтобы покрывать пики в отдельные часы, что приводит к низкой загрузке станций.

С появлением промышленных накопителей, по сути — складов электроэнергии, графики выработки и потребления можно развести и сделать комфортными каждой стороне. Если в ней не будет необходимости, достаточно поставить в базовый режим работы АЭС и не содержать «запасные» мощности. Для любой генерирующей установки нет ничего лучше ровного графика. При рав-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

номерном графике удельный расход топлива оптимальный: у электростанций КИУМ он может достигать 70–80%, и могут сокращаться расходы на ремонты. Постепенно будет возникать развилка: строить новую станцию для покрытия максимального спроса или достаточно присоединить накопитель к существующей генерации [12-14; 16-18].

В этой связи требуется оценка затрат на строительство указанных накопителей энергии для определения подходящих систем хранения энергии с экономической точки зрения.

В целях определения экономической целесообразности внедрения различных видов систем хранения энергии в КДЦ “Энергия” были проведены расчеты постоянных затрат на строительство регулирующей станции.

При определении постоянных затрат использована формула расчета приведенных затрат [5-10]:

$$Z_{\text{пост}} = r Z_{e/e} / (1 - \exp(-rT));$$

где $Z_{e/e}$ – единовременные затраты (например, для ГТУ 350 долл/кВт),

r – ставка дисконтирования, равная, к примеру, 0,1 (10% в год),

T – срок эксплуатации (жизненный цикл ГТУ 20 лет).

С учетом этой формулы определены постоянные затраты для ГТУ:

$$Z_{\text{пост}} = 40,48 \text{ долл/кВт в год.}$$

По этой же методике рассчитывается себестоимость электроэнергии для различных источников, предназначенных для покрытия прерывистости ВИЭ: (табл.1).

Таблица 1

Расчет себестоимости электроэнергии для различных источников

	ГТУ (пик. режим)		BESS	ГАЭС	Гравит. НЭ
Ставка дисконтирования	0.1		0.1	0.1	0.1
Стоимость 1 кВт уст. мощности	350		714	2778	1925
Жизненный цикл (лет)	20		10	50	40
Постоянные затраты на строительство (\$/кВт)	40.48		113.00	279.66	196.09
С учетом 5% деградации мощности, (\$/кВт)	-		184.06	-	-
Себестоимость эл/эн при круглогод. работе, цент/кВтч	0.46		2.10	3.19	2.24
Фактическая загрузка в сутки, час	5		1.2	5	5
Себестоимость с учетом ограниченности работы в сутки	2.22		42.02	15.32	10.74
Доп. затраты (учтем только на топливо, г/кВтч)	350		-	-	-
Расход газа, м ³ /кВтч или мазута г/кВтч	0,302	0,255			
Топливная сост-щая в себестоимости, цент/кВтч	1,919	10,560			
Себестоимость эл/эн, цент/кВтч	4,14	12,78	42,02	15,32	10,74

Расчеты показывают, что гравитационные накопители в пересчете на жизненный цикл получаются в 1,5 раза дешевле ГАЭС и в 4 раза дешевле электрохимических накопителей.

Несмотря на то, что ГТУ по-прежнему являются наиболее дешевым источником для покрытия пиковых потребностей в мощности, их использование для замещения прерывистой ВИЭ в больших объемах будет ограничиваться допустимыми режимами газотранспортной системы.

При использовании дизельного топлива себестоимость электроэнергии на ГТУ окажется соразмерной с себестоимостью электроэнергии гравитационных накопителей. Иными словами, всю недостающую пиковую мощность, обусловленную газотранспортными ограничениями, имеет смысл покрывать за счет гравитационных накопителей.

Гравитационные накопители – одна из перспективных технологий хранения энергии, которая тестируется в разных странах, но пока не реализована в промышленных объемах. Однако, в настоящее время в мире активно разрабатываются проекты по таким системам хранения энергии. Шотландский стартап Gravitricity объявил о начале пилотного проекта гравитационного накопителя энергии на промышленной площадке в порту Лит (Эдинбург), крупнейшем закрытом глубоководном порту Шотландии. Прототип мощностью 250 кВт будет использовать два 25-тонных груза, подвешенных на 16-метровой вышке на стальных тросах. Стоимость проекта составляет 1 млн фунтов стерлингов [6].

Двухмесячная программа испытаний должна подтвердить модельные расчеты и создать основу для первого полномасштабного проекта компании мощностью 4 МВт, который собираются начать в следующем году. Система Gravitricity промышленного масштаба устанавливается над 150-1500-метровой шахтой (рис.1).

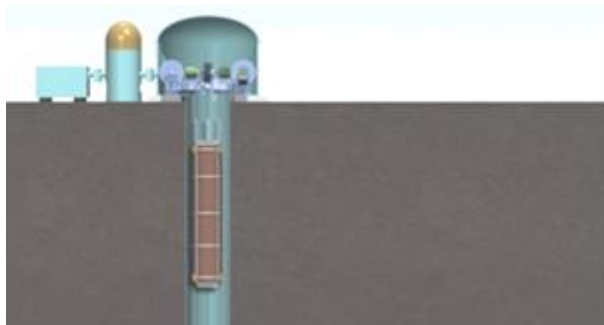


Рис.1. Система Gravitricity промышленного масштаба [6]

Электроэнергия используется для поднятия груза (накопление) и вырабатывается при его опускании в шахту. Масса грузов в промышленной системе Gravitricity, по данным компании, может варьироваться от 500 до 5000 тонн. Компания заявляет время отклика – с нуля до полной мощности – менее одной секунды. Срок службы - 50 лет без потери производительности. Gravitricity планирует внедрять свою технологию в вышедших из эксплуатации шахтах по всему миру [6-9; 14-18].

Как сообщает издание New Atlas, инженеры компании Energy Vault недавно запустили демонстрационную систему, которая делает запас потенциальной энергии тяжёлых грузов, поднятых высоко над землёй. Конструкция, созданная в Energy Vault, представляет собой кран с несколькими стрелами (рис.2). Он строит "башню" из поставленных друг на друга массивных бетонных блоков. Как сообщает ресурс Tech Crunch, общая высота сооружения может достигать 90 метров (около 29 этажей), а общее количество блоков – пяти тысяч. Их суммарная масса составляет около 35 тонн. Всего такая конструкция способна запасти 35 мегаватт-часов и развить пиковую мощность в четыре мегаватта (рис. 2).

Потери энергии во время зарядки и разрядки такой "батарейки" не превышают 10%. При этом, в отличие от традиционного аккумулятора, детищу Energy Vault не свойственно самопроизвольно разряжаться с течением времени и постепенно терять ёмкость.



Рис.2. Кран с несколькими стрелами [7]

Систему нельзя назвать медлительной: пиковая мощность развивается уже через три секунды после включения. К достоинствам этого устройства следует также отнести его долговечность (оно рассчитано на 30–40 лет работы). Стоимость системы для покупателя составит 7–8 миллионов долларов США [7].

Литература

1. Караулов Н.А., Вдовченко М.С., Кутумова В.И., Оптимизация развития сложной энергетической системы с учетом обеспечения надлежащей маневренности генерирующих мощностей, /в сборнике: Выравнивание графиков нагрузки энергетических систем и выбор типа электростанций для покрытия пиковых нагрузок, -М. 1968. <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/089/013.htm>.
2. Юрий Удальцов: «Накопители станут играть значительную роль. <https://www.rusnano.com>.
3. Андрей Велесюк. Как технологии хранения электроэнергии изменят мир. <https://atomicexpert.com/page3174172.html>.
4. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-4/4-4>.
5. Стивен Стофт. Введение в проектирование рынков электроэнергии. – Москва: Мир, 2006.

6. В Великобритании создается новая гравитационная система накопления энергии. https://elektrovesti.net/70884_v-velikobritanii-sozdaetsya-novaya-gravitatsionnaya-sistema-nakopleniya-energii.

7. 90-метровый гравитационный "аккумулятор" решит проблемы альтернативной энергетики. <https://energyvault.ch>.
<http://www.energsovet.ru/news.php?zag=1542662373>.

8. Гамм А.З. Наблюдаемость электроэнергетических систем / А. З. Гамм, И. И. Голуб, Д. Я. Кесельман // Электричество. - 1975. - №9. - С. 1-7.

9. Гамм А.З. Обнаружение недостаточно достоверных данных при оценивании состояния ЭЭС с помощью топологического анализа / А. З. Гамм // Электричество. - 1978. - №4. - С. 1-8.

10. Гамм А.З. Методы решения задачи оценивания состояния электроэнергетической системы. / А.З. Гамм, Ю. А. Гришин, И.Н. Колосок. Вопросы оценивания и идентификации в энергетических системах. - Иркутск: - 1974. - С. 149-163.

11. Гамм А. З. Оценивание состояния в электроэнергетике А. З. Гамм, Л. Н. Герасимов, И. И. Голуб и др. - М.: Наука, 1983. - 302 с.

12. Назаров Н. Г. Метрология. Основные понятия и математические модели / Н. Г. Назаров. - М.: Высшая школа, 2002. - 348 с.

13. Garcia A. Fast decoupled state estimation and bad data processing / A. Garcia, A. Monticelli, P. Abreu // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1979. Vol. PAS-98. №5. P. 1645-1652.

14. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 479 с.

15. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 452 с.

16. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: - Т: Укитувчи, 1977. – 368 с.

17. Теория вероятностей и математическая статистика. (https://studme.org/290263/matematika_himiya_fizik/pravilo_treh_sigma).

18. Графические методы анализа данных. (<http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stgraph.html>).

Представлено Координационно-диспетчерским центром «Энергия»

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ
БАЗОВОГО МАГНИТНО-ТРАНЗИСТОРНОГО ЭЛЕМЕНТА****Б.А. Абдуллаев, А.И. Рахматуллаев**

Ушбу мақолада электр схемасида ярим ўтказгичли транзисторлар ва магнит элементларидан ташкил топган ўзгартгичнинг иш режими кўриб чиқилган. Электр схемасидаги кенг-импульсли ўзгартгич вазифасини А ва Б магнит ўзаклари ва транзистор калитлари сифатида T_1, T_2, T_3 ва T_4 лардан фойдаланилган ва бу транзисторлар жуфтликда ишлаб функцияларнинг алмашиб ишлашлари кучланиш ўзгартгичи P_2 нинг киришидаги ўзгарувчан кучланишининг частотасига боғлиқ бўлади. Ўзгармас кучланишли магнит - транзисторли параметрик стабилизатор (МТПС) нинг электр занжири схемаси ва асосий хисоблаш формулалари келтирилган.

В данной работе приведена электрическая схема преобразователя на основе транзисторов и магнитных элементов. Функцию функционального и широтно-импульсного преобразователей выполняют магнитные сердечники А и Б с транзисторными ключами T_1, T_2, T_3 и T_4 . Частота переключения транзисторов T_1, T_2, T_3 и T_4 определяется частотой переменного выходного напряжения преобразователя P_2 . Перечислены некоторые допущения при анализе и расчетные формулы аппроксимации статических характеристик элементов МТПС постоянного напряжения.

This paper presents the electrical circuit of the converter based on transistors and magnetic elements. The function of functional and pulse-width converters is performed by magnetic cores A and B with transistor switches T_1, T_2, T_3 and T_4 . The switching frequency of transistors T_1, T_2, T_3 and T_4 is determined by the frequency of the AC output voltage of the converter P_2 . Some assumptions in the analysis and calculation formulas for approximating the static characteristics of the DC MTPS (Magnetic transistor parametric stabilizer) elements are listed.

В случае, когда входом является постоянное напряжение, схемы с обычными МУ и дросселем не применимы без силовых преобразователей постоянного напряжения в переменное.

На рис .1 приведена схема МТПС, выполненная на основе предложенного нами способа [1]. При помощи этой схемы устраняются недостатки вышеуказанных схем и структур параметрических стабилизаторов. В этой схеме широтно-импульсный (ШИМ) и амплитудно-импульсный (АИМ) модуляторы, а также преобразователи построены на основе транзисторов и магнитных элементов. Силовая часть ШИМ и АИМ МТПС построена на транзисторах с п-р-п переходами, которые работают только в режиме переключения, а также на магнитных сердечниках, работающих в режиме насыщения. Транзисторные ключи T_5 и T_6 выполняют функцию АИМ. Функцию функционального и широтно-

импульсного преобразователей выполняют магнитные сердечники А и Б с транзисторными ключами T_1, T_2, T_3 и T_4 . Частота переключения транзисторов T_1, T_2, T_3 и T_4 определяется частотой переменного выходного напряжения преобразователя Π_2 .

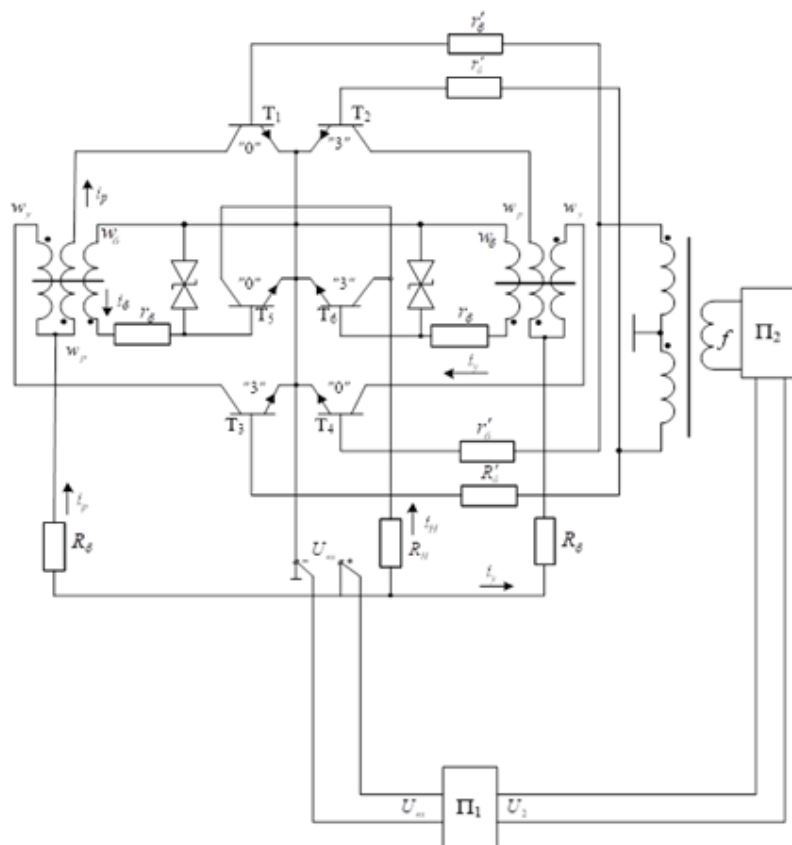


Рис.1. Схема магнитно-транзисторного параметрического стабилизатора постоянного напряжения

Анализу и применению стабилизаторов с магнитными и полупроводниковыми элементами посвящена много научных статей и выступлений. Однако такие вопросы, как исследование магнитно-транзисторных стабилизаторов с учетом динамических свойств транзисторных ключей, проведено еще недостаточно. Лишь частично эти вопросы рассмотрены при анализе магнитно-транзисторных преобразователей [1-7].

Исследование показывает, что динамические свойства сердечников и параметры транзисторов во многом определяют точность стабилизации, параметрическую надежность и стабильность МТПС. Изучение влияния указанных параметров на характеристики МТПС и является целью настоящей работы.

Допущения при анализе и вопросы аппроксимации статических характеристик элементов МТПС постоянного напряжения.

При анализе принимаем следующие допущения:

1. Входное напряжение стабилизатора является источником постоянного тока;
2. Обмоточные данные, геометрические размеры сердечников и их магнитные характеристики идентичны, нагрузка активная;
3. Статическая петля гистерезиса сердечников близка к прямоугольной;
4. Индуктивность рассеяния обмоток равна нулю;
5. Индуктивное сопротивление рабочей обмотки насыщенного сердечника существенно меньше сопротивления нагрузки и им можно пренебречь;
6. Транзисторные ключи идеальны.

Учитывая все вышесказанные допущения можно провести аппроксимацию динамической петли гистерезиса сердечников.

Как известно, в общем случае связь между магнитной индукцией и напряженностью магнитного поля сердечников описывается дифференциальным уравнением высокого порядка:

$$B = \varphi \left(H, \frac{dH}{dt}, \dots, B, \frac{dB}{dt}, \frac{d^2B}{dt^2}, \dots \right). \quad (1)$$

При первом приближении можно пренебречь производными высших порядков. Тогда уравнение упрощается и принимает следующий вид [4]:

$$\frac{dB}{dt} - F(H, B) = 0. \quad (2)$$

Аналитическое выражение уравнения (2) с использованием динамической кривой размагничивания (ДКР) сердечников со строгим выводом приведено в [5], согласно которому оно имеет следующий вид:

$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_{\text{э}}}{\pi} (H - H_C); \quad (3)$$

где $\mu_{\text{э}}$ – эквивалентная проницаемость сердечника, определяемая по ДКР;

H_C – коэрцитивная сила, определяемая по статической петле гистерезиса;

$\tau = \omega t$;

ω - круговая частота перемагничивания сердечника.

Как показано в [5], уравнение (3) описывает лишь процесс намагничивания сердечников, а для процесса размагничивания оно примет следующий вид:

$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_{\text{э}}}{\pi} (H + H_C). \quad (4)$$

Обобщая уравнения (3) и (4), получаем:

$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_{\text{э}}}{\pi} (H \mp H_C); \quad (5)$$

где знак “-“ соответствует увеличению индукции в сердечнике, а “+” – ее уменьшению.

На рис.2 приведено графическое изображение аппроксимации динамической петли гистерезиса сердечника МТПС.

В МТПС, приведенном на рис.1, сердечники работают в режиме насыщения, т.е. изменение индукции за полупериод частоты преобразователя P_2 $|\Delta B| \geq 2B_s$, где B_s – индукция насыщения сердечника.

На рис.1 приведены положительные направления токов (i_y, i_H, i_p, i_b) цепей стабилизатора для одного полупериода частоты преобразователя Π_2 (задающего генератора). При этом напряжение входного сигнала U_{ex} является размагничивающим и намагничивающим фактором для ферромагнитных сердечников стабилизатора.

В зависимости от состояния транзисторных ключей в стабилизаторе возможны следующие состояния:

- состояние 1: транзисторы T_2, T_3 и T_6 открыты, а T_1, T_4 и T_5 заперты, т.е. для сердечника А рабочий, а для Б – управляющий полупериоды;

- состояние 2: транзисторы T_2, T_3 и T_6 заперты, а T_1, T_4 и T_5 открыты, т.е. сердечники А и Б меняются ролями по отношению к состоянию 1.

Здесь понятия о рабочем и управляющем полупериодах сердечников соответствуют понятиям теории быстродействующих магнитных усилителей [4]. Частота переключения транзисторов в T_1, T_2, T_3 и T_4 зависит от частоты преобразователя постоянного напряжения в переменное прямоугольной формы (Π_2).

Исходные уравнения, описывающие физические процессы в стабилизаторе для состояния 1, имеют следующий вид:

$$U_{BX} = i_p(R_b + r_p) + w_p S \omega \frac{dB}{d\tau} ; \quad (6)$$

$$w_p S \omega \frac{dB}{d\tau} = i_b r_b + U_{cm} ; \quad (7)$$

$$i_p w_p - i_b w_b = H_H l ; \quad (8)$$

где B, H – магнитные индукции и напряженности поля сердечника А;

R_b – балластное сопротивление;

i_b, r_b – ток и сопротивление базовой цепи транзистора T_5 ;

U_{cm} – выходное напряжение стабилитронов;

w_p, w_y, w_b – число витков рабочей, управляющей и базовой обмоток сердечника А;

ω – угловая частота переменного напряжения преобразователя Π_2 ;

i_p, i_y – токи в рабочей и управляющей цепях сердечника;

s – сечение сердечника;

l – длина средней силовой магнитной линии тороидального сердечника;

r_p – активное сопротивление рабочей обмотки.

Допустим, что $U_{cm} = \frac{H_c l}{w_b} r_b$ и с учетом (3) из системы уравнений (6)-(8) получим:

$$U_{ex} \theta_s = \left(\frac{\pi l (R_b + r_p)}{w_y w_p} + \frac{w_b^2 S \omega (R_b + r_p)}{r_b w_p} + w_p S \omega \right) \Delta B_p ; \quad (9)$$

где ΔB_p - изменение индукции сердечника в рабочем полупериоде частоты преобразователя Π_2 .

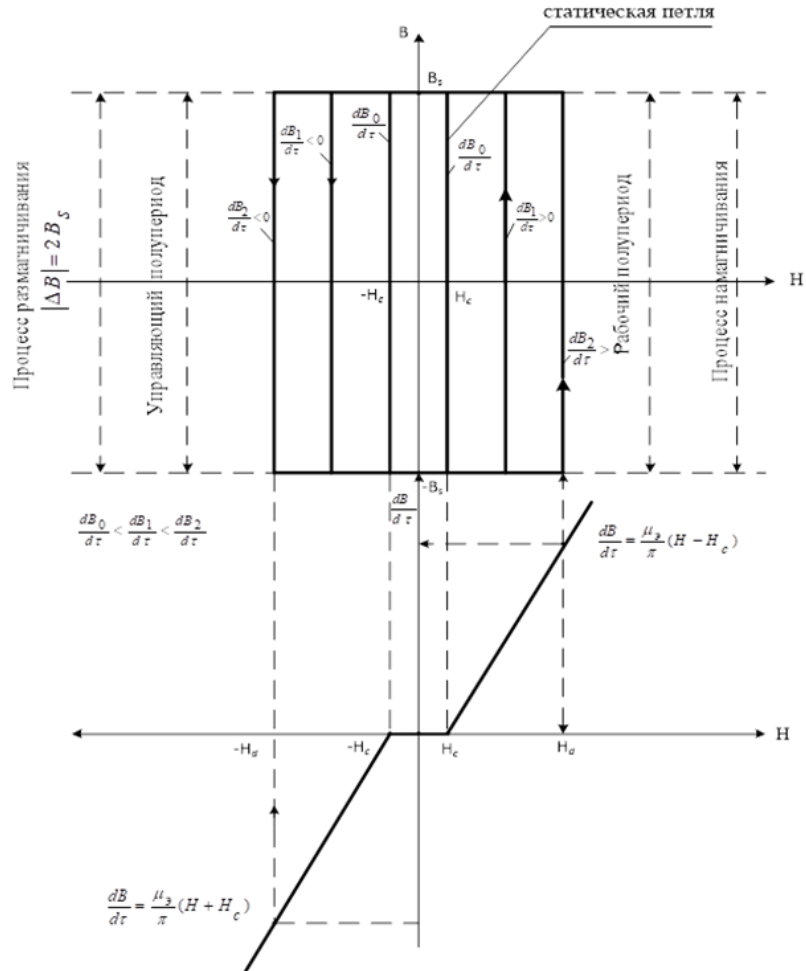


Рис.2. Аппроксимация динамической петли гистерезиса сердечников

В режиме полного перемагничивания и при прямоугольности петли гистерезиса сердечников:

$$\Delta B_p = 2B_s;$$

тогда из (9) для угла насыщения сердечников получим:

$$\theta_s = \frac{2B_s \left(\frac{\pi d(R_b + r_p)}{w_p w_p} + \frac{w_b^2 S \omega (R_b + r_p)}{r_b w_p} + w_p S \omega \right)}{U_{ex}}. \quad (10)$$

Откуда следует, что величина θ_s обратно пропорциональна величине входного напряжения U_{ex} .

Среднее значение выходного напряжения равно:

$$U_{\text{Нср}} = \frac{\theta_s}{\pi} U_{\text{вх}} = \frac{2B_s}{\pi} \left(\frac{\pi l(R_b + r_p)}{w_s w_p} + \frac{w_b^2 S \omega (R_b + r_p)}{r_b w_p} + w_p S \omega \right) = K . \quad (11)$$

Таким образом, при принятых допущениях среднее значение выходного напряжения зависит от параметров сердечников, сопротивления рабочей и базовой цепей R_b и r_b , а также частоты преобразователя. При постоянстве указанных параметров данное устройство является идеальным параметрическим стабилизатором.

Литература

1. Каримов А.С., Абдуллаев Б.А. Разработка, исследование и проектирование низковольтных стабилизированных источников для системы электропитания гальванических ванн. /Тема № 111/80 Гос.рег.№ 81019304, Ташкент, 1983. - 145 с.
2. Каримов А.С., Рахимов Г.Р. Автопараметрическое преобразование числа фаз и частоты переменного тока. –Ташкент: Фан, 1975. – 143 с.
3. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. - М., Высшая школа, 1974. - 210 с.
4. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. – Москва: Высшая школа, 1977. – 343 с.
5. Абдуллаев Б. Двухтактный транзисторный инвертор.АС.№658683.БИ №15,1979.
6. Абдуллаев Б. Обобщенные модели пассивных нелинейных элементов электрических цепей и систем.-Т. ТашГТУ, 2015. -180с.
7. Abidov K.G., Rahmtullaev A.I. Possibility of application of a reciprocity principle at conversions of currents and voltages on the nonlinear four-poles// TSTU.2019 №1.80-84p.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК: 621.74.075

**СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ
МЕТАЛЛА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ
ЛИНЕЙНЫХ ГРАФОВ****К.Г. Абидов, А.А. Пулатов**

Индукцион тигил печлари юқори сифатли қотишма пўлатларни эритиши учун асосий агрегатлардан биридир. Уларнинг асосий хусусиятлари (металларнинг тез иситиши, маълум бир ҳарорат ва кимёвий таркибни сақлаб туриши қобилияти) туфайли индийксиён печлари бутун дунё бўйлаб пўлат эритиши саноатида этакчи ўринни эгаллайди. Бироқ, технологик жараённинг ўзига хос хусусиятлари туфайли индийксиён печлари электр таъминоти тармоғига жуда салбий таъсир кўрсатадиган электр энергиясини истеъмол қилади. Замонавий амалиётда индукцион печларининг электр энергиясининг сифат кўрсаткичларига таъсири билан боғлиқ муаммолар одатда жараённинг барча хусусиятларини тўлиқ ҳисобга ололмайдиган эмпирик усуллар билан ҳал қилинади. Индукцион печида металлни эритишнинг математик моделини яратишда чизиқли графиклардан фойдаланиш металлнинг эриши нуқтасини аниқлашга ва печнинг асосий қисмларида ҳарорат ошиб кетишини бошқаришга имкон беради. Бундан ташқари, агар керак бўлса, тақдим этилган графикларни конвертация қилиш методологиясига мувофиқ печнинг иссиқлик режимини оптималлаштириши учун сиз керакли иссиқлик параметрлари билан печнинг исталган қисмининг график моделини олишингиз мумкин.

Индукционные тигельные печи являются одним из основных агрегатов для плавки высококачественных легированных сталей. Благодаря ключевым особенностям (быстрому нагреву металлов, возможности поддержания заданной температуры и химического состава) индукционные тигельные печи занимают лидирующие позиции в сталеплавильной индустрии по всему миру. В связи с особенностями технологического процесса индукционные тигельные печи являются потребителями электроэнергии, оказывающие крайне негативное влияние на питающую сеть. В современной практике вопросы, связанные с влиянием работы индукционных тигельных печей на показатели качества электроэнергии, обычно решаются эмпирическими методами, не способными в полной мере учесть все особенности процесса. Использование линейных графов в создании математической модели плавления металла в индукционной тигельной печи позволяет определить температуру плавления металла и контролировать превышение температуры в основных частях печи. Кроме этого, при необходимости оптимизировать тепловой режим работы печи по представленной методике преобразования графов, можно получить графовую модель любой части печи с искомыми тепловыми параметрами.

Induction crucible furnaces are one of the main units for melting high-quality alloy steels. Due to their key features (rapid heating of metals, the ability to maintain a set temperature and chemical composition), induction crucible furnaces occupy

leading positions in the steelmaking industry worldwide. However, due to the peculiarities of the technological process, induction crucible furnaces are a consumer of electricity, which has an extremely negative impact on the supply network. In modern practice, issues related to the influence of induction crucible furnaces on the quality of electricity are usually solved by empirical methods that are not able to fully take into account all the features of the process. The use of linear graphs in the creation of a mathematical model of metal melting in an induction crucible furnace allows you to determine the melting temperature of the metal and control the excess temperature in the main parts of the furnace. In addition, if it is necessary to optimize the thermal operation of the furnace according to the presented graph transformation technique, it is possible to obtain a graph model of any part of the furnace with the desired thermal parameters.

Введение. В условиях быстрого роста рынка металлопродукции и ужесточения требований к качеству стали производители сталкиваются с проблемой отсутствия необходимых мощностей. Для выпуска продукции в требуемом количестве сталеплавильные цеха должны работать чрезвычайно эффективно, с высокой степенью автоматизации. Для плавки стали широко применяются индукционные и электродуговые печи. Тепло в индукционных электропечах выделяется в результате преобразования электроэнергии в тепловую за счет возбуждения в шихте вихревых токов. Технические решения в области индукционных тигельных печей средней частоты в последние годы позволили резко увеличить скорость плавки металла. Развитие статических преобразователей частоты дало ряд преимуществ, включая высокую эффективность, надежность, минимальные затраты на обслуживание и низкие капитальные затраты. Индукционный нагрев и плавка металла являются наилучшим решением по обеспечиваемой производительности и точности, для решения вышеуказанных задач.

Современные установки индукционного нагрева - это сложные высокопроизводительные энергоемкие агрегаты мощностью в десятки мегаватт. Высокая эффективность процесса нагрева равносильна энергосбережению и автоматически ведет к экономичности технологии. В свою очередь, разработка и создание эффективных систем управления установок индукционного нагрева с высокими технико-экономическими показателями и высоким к.п.д. является одной из самых актуальных задач в технике индукционного нагрева [1].

Технология создания математической модели. Из-за сложности расчета процесса нагрева выплавляемого металла и основных конструктивных частей индукционных тигельных печей с точки зрения инженерной практики, большой интерес представляет разработка математической модели на основе линейных графов, используемая при анализе линейных электрических цепей [2].

Индукционную тигельную печь можно представить, как тепловую схему, состоящую из четырех взаимосвязанных тел [3].

Система уравнений теплового баланса для установившегося режима такой схемы имеет следующий вид:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

$$\left. \begin{aligned} \Lambda_{11}\theta_1 - \Lambda_{12}\theta_2 - \Lambda_{13}\theta_3 &= P_1, \\ -\Lambda_{21}\theta_1 + \Lambda_{22}\theta_2 - \Lambda_{23}\theta_3 - \Lambda_{24}\theta_4 &= P_2, \\ -\Lambda_{31}\theta_1 - \Lambda_{32}\theta_2 + \Lambda_{33}\theta_3 - \Lambda_{34}\theta_4 &= P_3, \\ -\Lambda_{42}\theta_2 - \Lambda_{43}\theta_3 + \Lambda_{44}\theta_4 &= P_4 \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

где $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ – превышение температуры выплавляемого металла, индуктора, футеровки и корпуса тигельной индукционной печи, $^{\circ}\text{C}$; P_1, P_2, P_3, P_4 – потери мощности соответствующих частей тигельной индукционной печи, кВт; $\Lambda_{12} = \Lambda_{21}, \Lambda_{13} = \Lambda_{31}, \Lambda_{23} = \Lambda_{32}, \Lambda_{24} = \Lambda_{42}, \Lambda_{34} = \Lambda_{43}$ – тепловые проводимости между рассматриваемыми частями тигельной индукционной печи; Λ_1 – теплоотдача выплавляемого металла через открытый свод тигеля; Λ_4 – теплоотдача корпуса печи; $\Lambda_{11} = \Lambda_{12} + \Lambda_{13} + \Lambda_1$ – суммарная тепловая проводимость выплавляемого металла; $\Lambda_{22} = \Lambda_{21} + \Lambda_{23} + \Lambda_{24}$ – суммарная тепловая проводимость индуктора; $\Lambda_{33} = \Lambda_{31} + \Lambda_{32} + \Lambda_{34}$ – суммарная тепловая проводимость футеровки; $\Lambda_{44} = \Lambda_{42} + \Lambda_{43} + \Lambda_4$ – суммарная тепловая проводимость корпуса.

Систему уравнений теплового баланса (1) можно представить в виде направленных графов по методике, представленной в [3,4,5,6]:

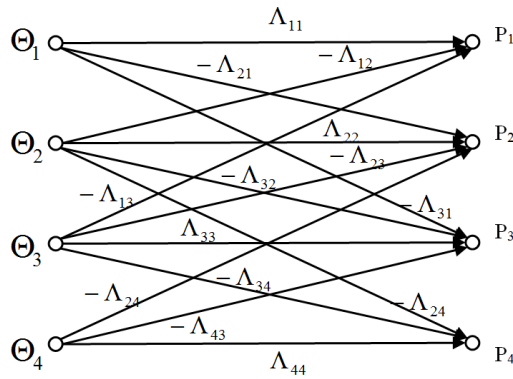


Рис.1. Система уравнений теплового баланса (1) в виде направленных графов

Выполняем инверсию графа, представленную на рис.1 (рис.2).

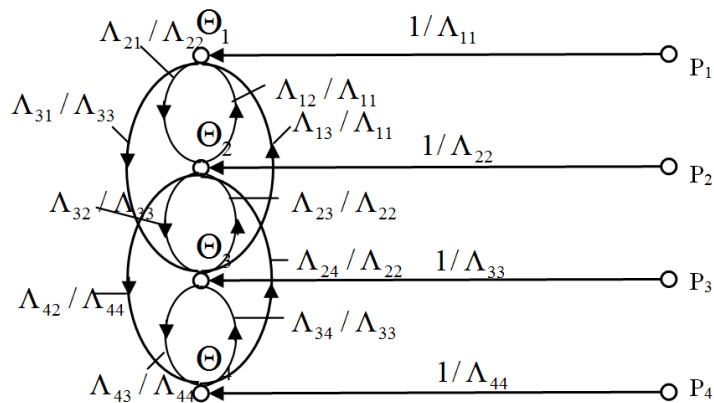


Рис.2. Инверсия графа, представленного на рис.1

Исключаем узел θ_4 из графа, представленного на рис.2 и в результате получим две петли со следующими $\Lambda_{34}\Lambda_{43}/\Lambda_{33}\Lambda_{44}$ и $\Lambda_{24}\Lambda_{42}/\Lambda_{22}\Lambda_{44}$ (рис.3).

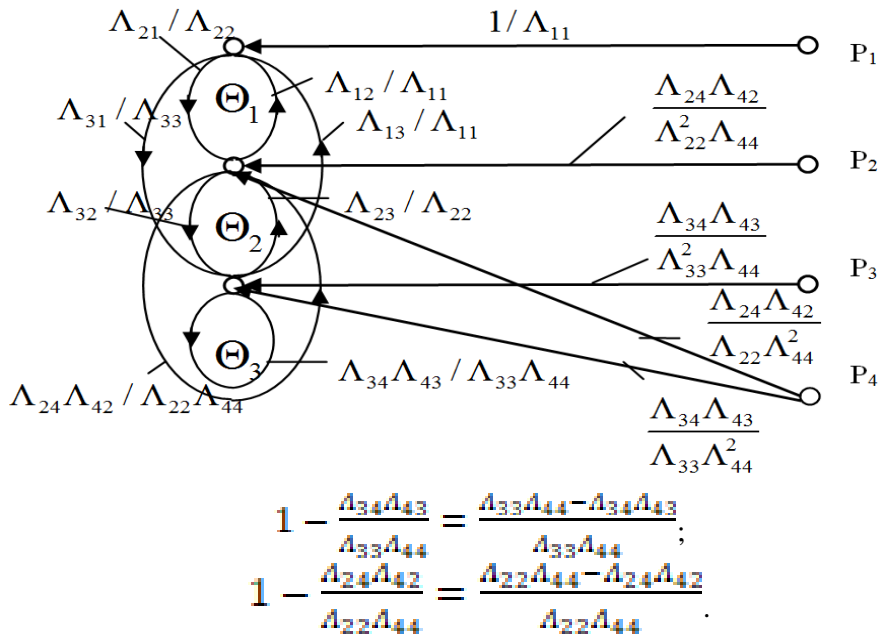


Рис.3. Инверсия граф после исключения из него θ_4

Далее из графа, представленного на рис.3, исключаем петли с передачами $A_{34}A_{43}/A_{33}A_{44}$ и $A_{24}A_{42}/A_{22}A_{44}$ (рис.4).

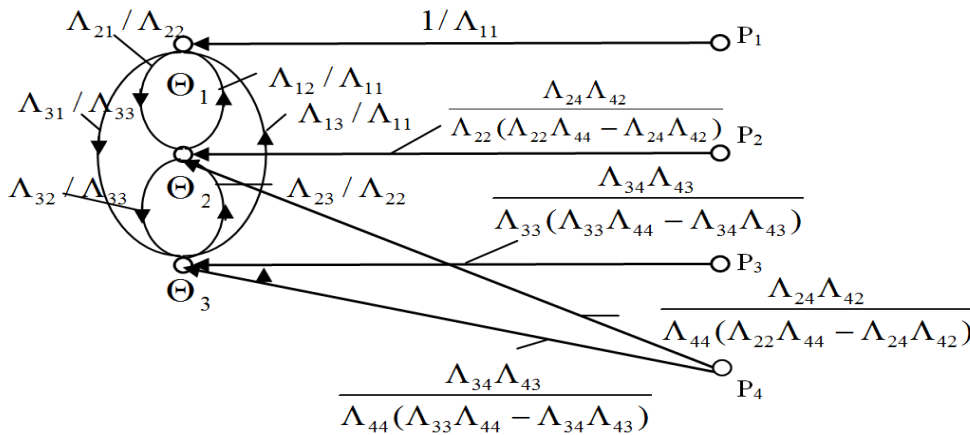


Рис.4. Инверсия графа после исключения передач $A_{34}A_{43}/A_{33}A_{44}$ и $A_{24}A_{42}/A_{22}A_{44}$

После исключения узла θ_4 графовая модель теплового процесса имеет вид с тремя неизвестными (рис.4). Исключим узел θ_3 и получим две петли со следующими передачами $A_{13}A_{31}/A_{11}A_{33}$ и $A_{23}A_{32}/A_{22}A_{33}$ (рис.5).

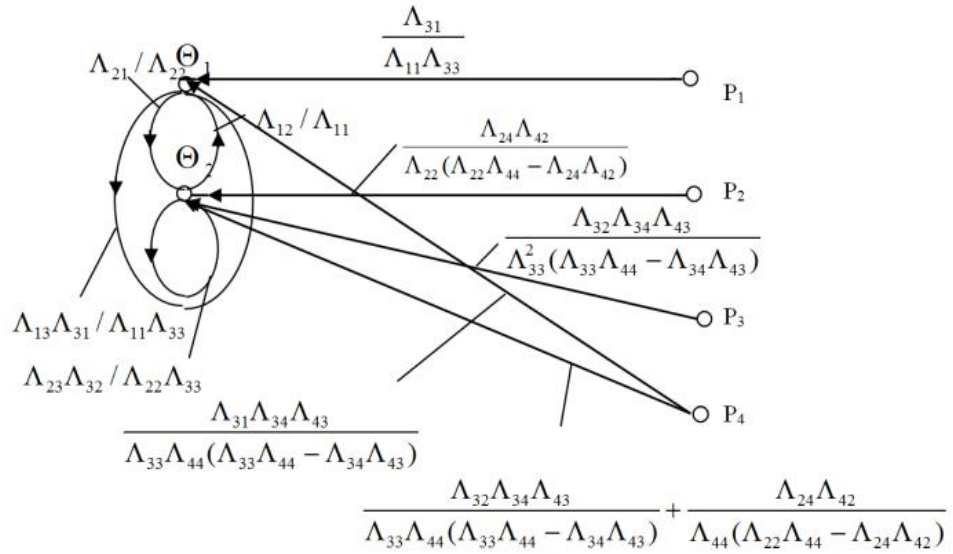


Рис.5. Инверсия графа после исключения θ_3

Исключаем петли с передачей $\Lambda_{13}\Lambda_{31}/\Lambda_{11}\Lambda_{33}$ и $\Lambda_{23}\Lambda_{32}/\Lambda_{22}\Lambda_{33}$ из графа, представленного на рис.5 и исключив узел θ_2 , получим графовую модель с образованием петли с передачей $\Lambda_{12}\Lambda_{21}/\Lambda_{11}\Lambda_{22}$ теплового процесса с двумя искомыми тепловыми параметрами (рис. 6).

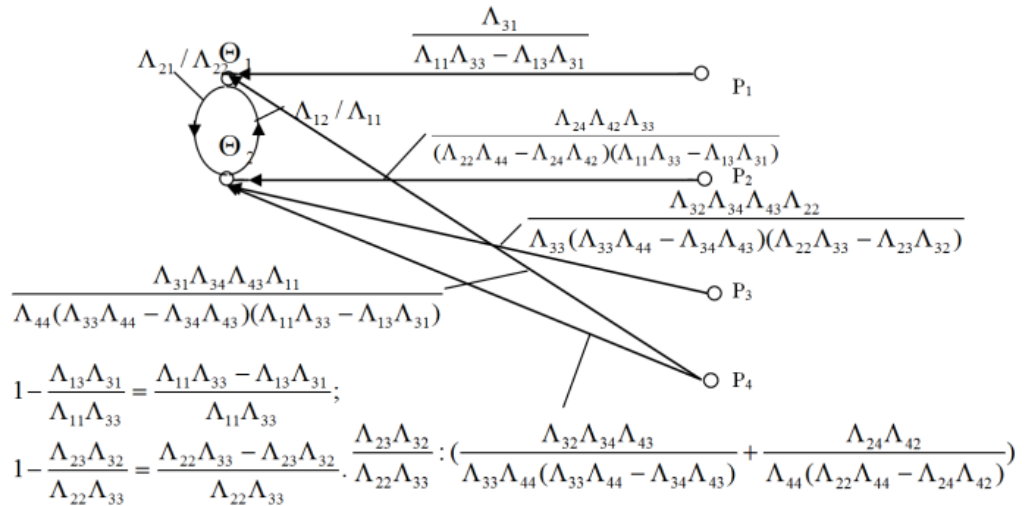


Рис.6. Инверсия графа после исключения передач $\Lambda_{13}\Lambda_{31}/\Lambda_{11}\Lambda_{33}$ и $\Lambda_{23}\Lambda_{32}/\Lambda_{22}\Lambda_{33}$

Исключая узел θ_2 , получим тепловую модель с одним неизвестным тепловым параметром (рис.7).

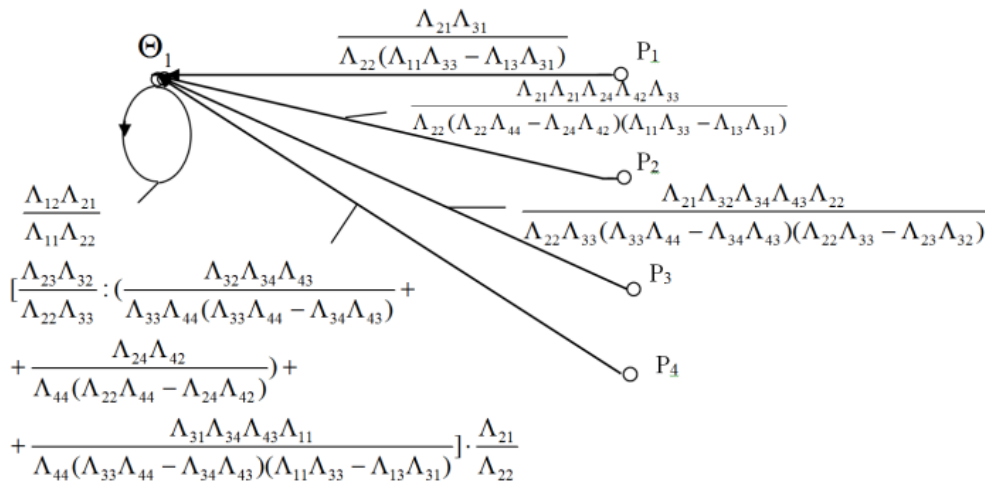


Рис.7. Инверсия графа после исключения θ_2

Исключая петлю с передачей $\frac{\Lambda_{12}\Lambda_{21}}{\Lambda_{11}\Lambda_{22}}$ из графовой модели, представленной на рис.7, получим окончательную тепловую модель процесса выплавляемого металла в индукционной тигельной печи (рис.8).

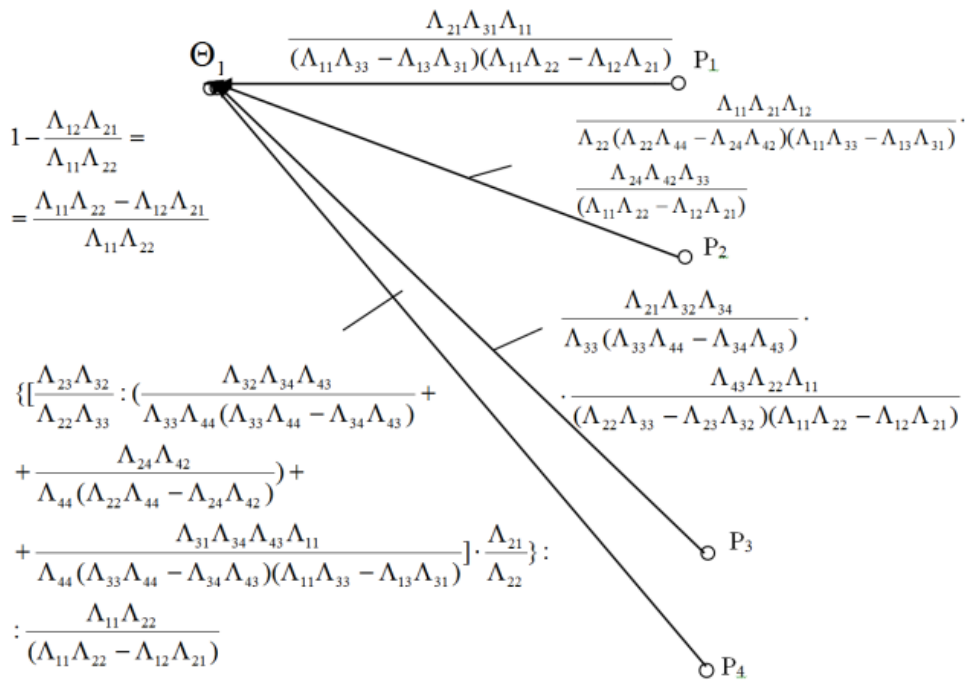


Рис.8. Окончательная тепловая модель процесса выплавляемого металла в индукционной тигельной печи

Таким образом, на базе развития и адаптации метода инверсирования графовой модели свойств сред к анализу электромагнитного поля в индукционных

устройствах построена математическая модель с учетом инверсности и нелинейности свойств их сред, дан анализ влияния теплового процесса на электромагнитные характеристики индукционных тигельных печей [7,8,9,10]. Разработанные алгоритмы и программы позволили исследовать электромагнитные характеристики индукционных тигельных печей с произвольной формой тигля, определить параметры ее схемы замещения, создать методику проектирования индукционных тигельных печей. Представленная математическая графовая модель легко алгоритмируется и программируется на персональных компьютерах, что позволяет оптимизировать процесс получения жидкого выплавляемого металла в индукционной тигельной печи на основе контроля и управления энергетическими (P_1, P_2, P_3, P_4) и тепловыми (например, A_1 и др.) параметрами. Кроме этого, по представленной методике преобразования графов, можно получить графовую модель индуктора с искомым тепловым параметром θ_2 , при необходимости следует проводить оптимизацию теплового режима работы индуктора. Установлено, что высокая эффективность процесса нагрева равносильна энергосбережению, что обеспечивает экономичность технологии, а создание эффективных систем управления установок индукционного нагрева с высокими технико-экономическими показателями и к.п.д., является одной из наиболее актуальных задач в технике индукционного нагрева.

Литература

1. Имамназаров А.Т. Применение сигнально-полусных графов для исследования тепловых цепей. /В сб. научн. трудов ТашПИ «Устройства и преобразовательная техника», -Ташкент, 1988. -С. 57-61.
2. Имамназаров А.Т., Пулатов А.А., Аъзамова Г.А. Математическая модель процесса плавки металла в ИТП на основе линейных графов. /Сборник трудов. 6-Всероссийская научно-техническая конференция. Прикладные аспекты энергетики. – Россия, Благовещенск, 2011. – С.657-661.
3. Khashimov A.A., Imomnazarov A.T., Pulatov A.O. Mathematical model of metal melting processes in crucible furnaces. International Simposium on Helting by ElectrotermicSources, Padua (Italy), June 22–25, 2004. P.120-127.
4. Блинов Ю.И. и др. Современные энергосберегающие электротехнологии. Учебн. пособие для вузов. -Санкт-Петербург, 2000. -564 с.
5. Bubnov A. V., Chudinov A. N., Emashov V. A. Tracking Mode Implementation Features for the Synchrophase Electric Drive // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2016. IEEE, 2016. P. 1-4. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7818990.
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 cruel 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. Вербжицкий В.М. Численные методы. Математический анализ и дифференциальные уравнения. – М.: Высшая школа, 2001. – 384 с.

10. Минаков В.Ф., Редькин В.М., Оськина Г.М., Минакова Т.Е. Математическое моделирование пусковых режимов трехфазных асинхронных двигателей // Вестник, серия «Естественнонаучная». №1(6), 2008. – С. 226-234.

11. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. - М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**Я.Т. Адылов, А.К. Нуралиев**

Мақолада энергия тизимининг подстанцияси томонидан ишлаб чиқарилган электромагнит таъсирлар механизмлари, шу жумладан кирувчи ва чиқувчи электр узатиш линияларининг бир қисми ва уларнинг насос агрегатларининг реле ҳимояси ва бошқарув тизимларини таъминловчи кабель линияларига таъсири таҳлил қилинади; насос станциясини бошқариш ва ҳимоя қилиш кабель таъминот тизимининг, кирувчи ва чиқувчи электр узатиш линияларининг бир қисмини ўз ичига олган подстанциядан иборат тизимда электромагнит таъсирларнинг (ЭМТ) юзага келиш натижалари кўрсатилган. Бундан ташқари, мақолада подстанция ерлаш тармогининг индуктив ва актив таъсирларга таъсири муҳокама қилинади, ҳамда ЭМТ таъсиридан ҳимоя қилиш муаммосини ҳал қилишда -бошқарув тизимлари ва реле ҳимояси учун таъминлаш манбаси сифатида электр энергиясини идеал синусоидал ток ва кучланиш шакли билан таъминлайдиган "Қуёш батареяси -частота ўзгартгичи" тизимидан фойдаланиш таклиф этилади.

В статье анализируются механизмы возникновения электромагнитных помех, создаваемых подстанцией энергосистемы, включая часть входящих и исходящих линий передачи и их влияние на кабельные линии, питающие системы релейной защиты и управления работой насосных агрегатов; показаны результаты образования электромагнитных помех (ЭМП) в системе, которая состоит из подстанции, включая часть входящих и исходящих линий электропередачи и кабельной структуры системы управления и защиты насосной станции. Кроме того, в статье обсуждается влияние сети заземления подстанции на индуктивные и активные помехи. Также предложен вариант решения проблемы защиты от влияния ЭМП - использование в качестве источника питания систем управления и релейной защиты систему «Солнечная батарея - частотный преобразователь», гарантированно дающую электрическую энергию с идеальной формой синусоиды тока и напряжения.

Now, all Power Systems are fitted by highly sensitive control systems will appear the problem of influence of electromagnetic disturbance to operating processes of control system. The solving of this problem is very actual now. The experience show, that the nature of this disturbances may be various, but basically this disturbance will appearance as a result of transient processes in power network. In content of this article, we showed the results of passed analysis. Finally, we suggested to use the renewable source of electrical energy, like a sun battery connected to inverter. The main reason for this solution is that renewable source operating separately from Power Network and absolutely clear from any types of electromagnetic disturbances. In according to our reckoning, installation of renewable source of energy, give the

possibility to do operation reliability of water pumps control and protection systems higher.

Введение. По площади орошаемой земли, используемой в сельском хозяйстве, Узбекистан занимает одно из первых мест в мире. На сегодняшний день ирригационными системами охвачено более 2,1 млн. гектаров земли. Для орошения используются 1130 насосных станций, из них 76 крупных, с производительностью $Q=100\text{м}^3/\text{сек}$, 496 станций средней мощности производительностью $Q=10\text{м}^3/\text{сек}$ и 561 мелких насосных станций с производительностью $Q=1\text{м}^3/\text{сек}$. По потреблению электрической энергии насосные станции используют более 20% от общего объема производимой в республике энергии за год. С учетом климатических изменений, начавшихся в мире, а также имея в виду дефицит воды и электрической энергии, в республике возникла острая необходимость в регулировании производительности работы насосных агрегатов.

На сегодняшний день типичная насосная станция состоит из двух основных частей: 1. Система электроснабжения, включающая в себя линии электропередач и силовую трансформаторную подстанцию; 2. Электромеханическая часть, состоящая из насосных агрегатов (электропривод + насос). Для регулирования производительности насосов необходимо добавить систему регулирования скорости, на сегодняшний день система VFD самая востребованная [1].

На рис. 1 приводится однолинейная типовая электрическая схема насосной станции, используемой в республике.

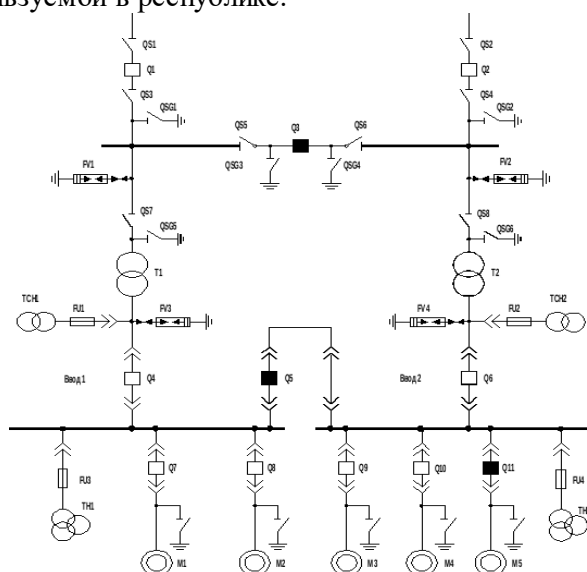


Рис. 1. Однолинейная электрическая схема насосной станции

В современной электроэнергетике, оснащенной высокочувствительными системами управления, проблема электромагнитных помех, возникающих в электросетях и защиты от них, является очень актуальной. Природа электромагнитных помех разнообразна, но в основном связана с переходными процессами

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

в электросетях. Очень часто они могут стать источником ложных сигналов для ложного срабатывания систем управления и релейной защиты [2].

На схеме рис. 1 источниками ЭМП являются входящие силовые линии Л1 и Л2, а также все виды коммутирующих аппаратов, типа силовые выключатели Q1-Q11, разрядники R1-R4, распределительные устройства 110 кВ и 10 кВ. Для питания релейной защиты и систем управления работой насосов М1-М5 используется кабельная сеть на рабочее напряжение (10-0,4) кВ. Поэтому нам интересно определить степень влияния ЭМП на достоверность информации, передаваемой по кабельной системе [3].

Описание проблемы. Рис. 2 иллюстрирует природу возникновения ЭМП в электроэнергетических системах.

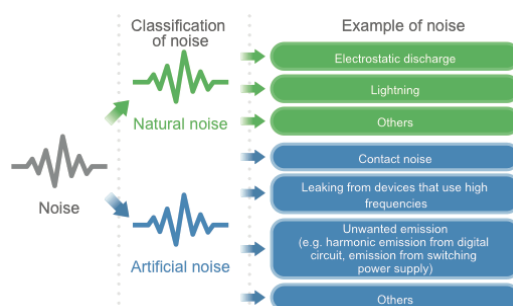


Рис. 2. Классификация ЭМП

Природа низкочастотных электромагнитных помех между силовой сетью энергосистемы и кабельными линиями обычно бывает трех видов: индуктивная, активная и емкостная (рис. 3).

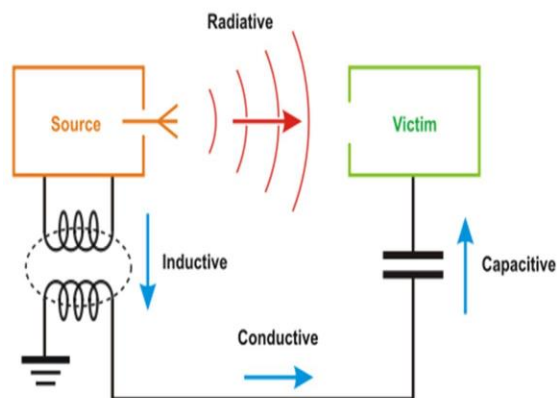


Рис. 3. Составляющие механизма ЭМП

В схемной модели расчет параметров линии основан на двух основных предположениях: (1) проводники имеют бесконечную длину; и (2) проводники параллельны [4].

На объектах электроэнергетики, передатчиками электромагнитных воздействий, которые могут оказывать влияние на автоматические и автоматизиро-

ванные системы технологического управления электротехническими объектами, являются:

1. Переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями;
2. Переходные процессы в цепях высокого напряжения при коротких замыканиях, срабатывании разрядников или ограничителей перенапряжений;
3. Электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций;
4. Переходные процессы в цепях различных классов напряжения при ударах молнии непосредственно в объект или вблизи него;
5. Электромагнитные возмущения в цепях оперативного тока.

На рис. 3 представлена однолинейная электрическая схема насосной станции, включающая в себя трансформаторную подстанцию вместе с питающими линиями высокого напряжения. Система состоит из силовой подстанции, включая часть входящих и исходящих линий передачи (Т / L) и кабельных сетей, питающих системы управления.

Возможные последствия от действия ЭМП на системы управления и защиты представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ п.п	Событие	Последствия	Причины
Коммутации в первичных цепях			
1.	Коммутация выключателем на ПС с элегазовым РУ	Ложная работа РЗА. Отключилась линия 110 кВ	Неисправно ЗУ. Высокий уровень импульсных помех
2.	Коммутация выключателем 10 кВ на ПС с закрытым РУ	Ложная работа РЗА. Отключилась линия 110 кВ	Импульсные помехи в сети постоянного тока более 2 кВ
3.	Коммутация выключателем на ПС с элегазовым РУ	Повреждение электронного реле	Высокий уровень импульсных помех. Низкая помехоустойчивость реле
4.	Коммутация выключателем на ПС с элегазовым РУ	Сбой в работе автоматики контроля плотности элегаза. Заблокировано управление выключателями 110 кВ	Низкая помехоустойчивость аппаратуры
5.	Коммутация выключателем 110 кВ на ПС с открытым РУ	Ложное отключение выключателя 220 кВ	Импульсные помехи в цепях оперативного тока

Основной задачей обозначенной в статье, является определение степени влияния ЭМП на кабельные линии. Используемый метод расчета основан на теории электромагнитного поля [5]. Для этого сначала строится модель всей проводящей сети (как показано на рис. 4). Далее, вычисляются индуктивные, активные и емкостные помехи и их влияние друг на друга (емкостные можно не учитывать, так как кабель закопан). Результаты расчетов элементов с использо-

ванием математической модели сравниваются с результатами расчетов, полученными при расчетах с использованием модели рис. 4.

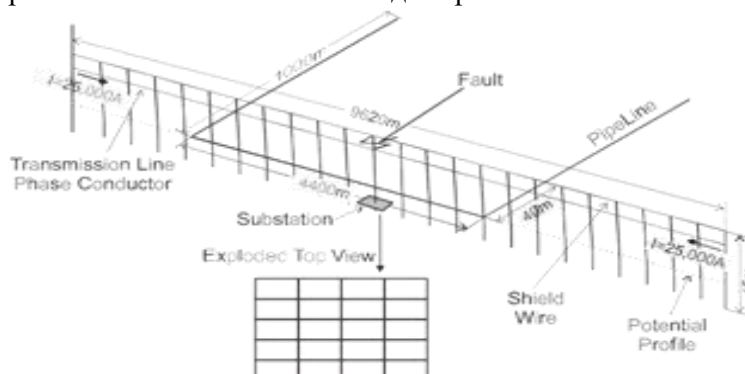


Рис. 4. Модель электрической системы Н.С

Смоделированная силовая система имеет длину около 6 км (5620 м). Для простоты был смоделирован только один фазовый и один экранирующий провод. Фазовый провод находится на высоте 12,7 м. Экранирующий оптоволоконный провод параллелен фазному проводу и находится на высоте 18,5 м. Его диаметр составляет 12,7 мм; относительное удельное сопротивление (по отношению к меди) составляет 1,67, а относительная проницаемость равна 1. Экранирующий провод соединен с землей на каждом конце через соответствующее сопротивление 10 Ом, чтобы имитировать длинную линию L. Длина пролета L составляет 40 м. После каждого пролета, экранирующий провод заземляется через вертикальный электрод длиной 10 м. Система заземления подстанции представляет собой контур заземления размером (200 x 100) м. Заземляющие провода - медь с радиусом сечения 13 мм. Контур заземления установлен на глубине 0,5 м и соединен с заземляющими стержнями соединительными полосами [6].

Методология исследования. Целью исследований является определение степени влияния ЭМП, генерируемых источниками на трансформаторной подстанции приведенные в табл.1. Кроме этого, задачей исследования является определения степени влияния контура заземления на трансформаторной подстанции на величину ЭМП. Расчеты проводились с использованием математической модели системы рис 4 которая включает в себя параметры линий всей системы, которые были вычислены с использованием программного комплекса с учетом всех параметров трансформаторной подстанции [7]. В этой же модели, с учетом сопротивлений подстанции, ее контура заземления, сопротивлений заземления опор линий рассчитывается влияние контура заземления на величину ЭМП. Затем строится модель схемы, представляющая сеть. В результате определяем индуктивную составляющую ЭМП. Для проверки степени достоверности расчетов напряжений прикосновения вблизи кабельной линии был задан профиль, состоящий из 260 точек наблюдения, лежащих на поверхности грунта, прямо над кабелем.

Механизмы электромагнитных помех. Помехи переменного тока в измерительном кабеле, наведенные линией электропередачи, состоят из индуктивного и активного компонентов. В нормальных условиях нагрузки на линии электропередачи, на кабельную линию воздействует только индуктивный компо-

нент, создаваемый магнитным полем линии электропередачи. Этот уровень помех напрямую зависит от расстояния между проводами линии и кабелем и увеличивается с его уменьшением, с увеличением удельного сопротивления грунта, а также с увеличением величины и частоты тока в проводниках. Пики напряжения ЭМП обычно возникают при межфазных коротких замыканиях и резких изменениях расстояния между измерительным кабелем и линией передачи, например, обрыв провода. Таким образом основными факторами, влияющими на интенсивность электромагнитных помех, возникающих в кабеле, являются: расстояние между проводниками; удельное сопротивление грунта; величина тока в линии; изменение частоты тока и напряжения в сети; изменение расстояния между током несущим проводом и кабелем. Когда на линии электропередачи происходит однофазное замыкание на землю, появляется большой ток, следовательно, происходит повышение потенциала земли в месте, где провод касается земли.

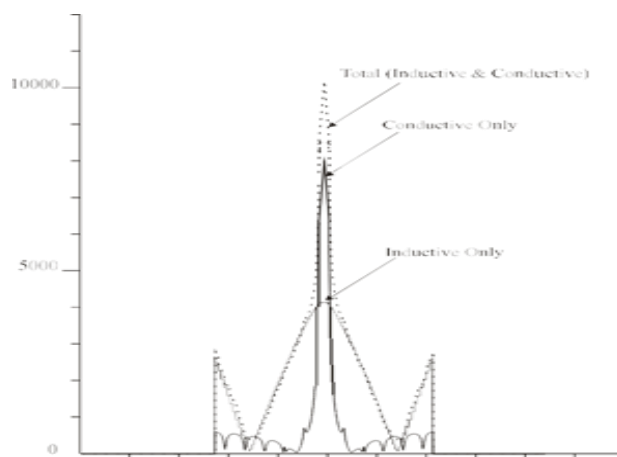


Рис. 5. По оси X распределение напряжения касания вдоль кабельной линии (есть контур заземления подстанции). По оси Y величина напряжения прикосновения (В)

Покрытие кабеля имеет высокое удельное сопротивление, поэтому потенциал кабеля будет оставаться неизменным относительно высокого потенциала окружающей почвы. Эта разница потенциалов между кабелем и окружающей землей из-за токов к.з на землю, представляет собой источник ЭМП. Амплитуда напряжения проводящих помех в основном зависит от повышения потенциала земли, структуры линии электропередачи, расстояния, параметров системы заземления её конструкции и характеристик грунта. Во время короткого замыкания также появляются индуктивные помехи, причем максимум амплитуды помехи возникает в месте короткого замыкания [8].

На рис. 5 показана величина напряжения прикосновения вдоль кабеля для сети с контуром заземления, во время к.з. на подстанции. Из рис. 5 легко различаются влияние индуктивного и активного компонентов ЭМП.

Влияние заземления подстанции на уровни электромагнитных помех. Заземление энергосистемы важно для обеспечения надежной работы электро-

энергетических систем, защиты оборудования и обеспечения безопасности персонала и, кроме этого, контур заземления может существенно изменить распределение тока и напряжения короткого замыкания и соответственно на уровень засорения систем управления электромагнитными помехами. На рис. 6 показано напряжение прикосновения вдоль трубопровода для той же системы рис. 4, но без контура заземления подстанции.

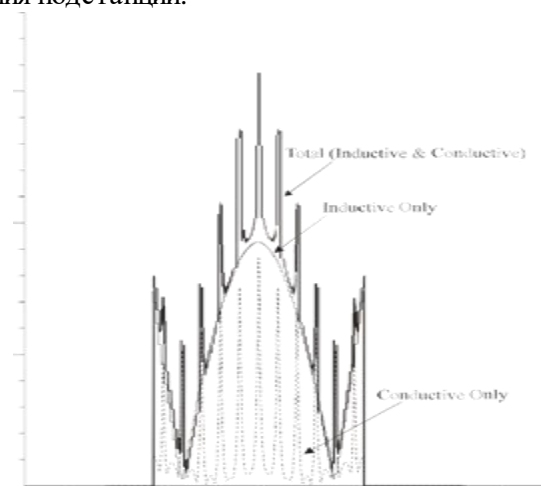


Рис. 6. Распределение напряжения прикосновения вдоль трубопровода (без контура заземления подстанции)

Из рис. 7а и б видно, что кривые проводящей компоненты весьма различны по величине. Максимальная проводящая помеха увеличивается с 1720 В до 8200 В при наличии заземляющей сети подстанции. Это связано с тем, что контур заземления подстанции охватывает гораздо большую площадь, чем заземление опоры. В результате контур имеет намного меньшее сопротивление заземления, чем сопротивление заземленной опоры, и больший ток короткого замыкания отводится в землю через контур заземления подстанции, обеспечивая большую передачу потенциала в кабельную линию. Однако потенциал кабеля останется примерно таким же, потому что он имеет хорошую изоляцию и не подключен к подстанции. Поэтому напряжения касания на поверхности кабеля, только от проводящих помех выше, когда рядом трансформаторная подстанция (рис.8) [9].

Уровень индуктивных помех также выше при наличии подстанции. Уровень индуктивных помех в кабеле обусловлен продольными токами в фазовом и экранированном проводах. Индуктивные помехи в трубопроводе из-за тока экранирующего провода уменьшают ток фазного проводника, поскольку направления ток противоположны. Поскольку в экранирующем проводе будет течь меньшим ток, из-за наличия контура заземления подстанции, которая эффективно отводит ток повреждения на землю, эффект действия помех будет меньше. Следовательно, результирующий уровень индуктивных помех в кабеле будет выше [10].

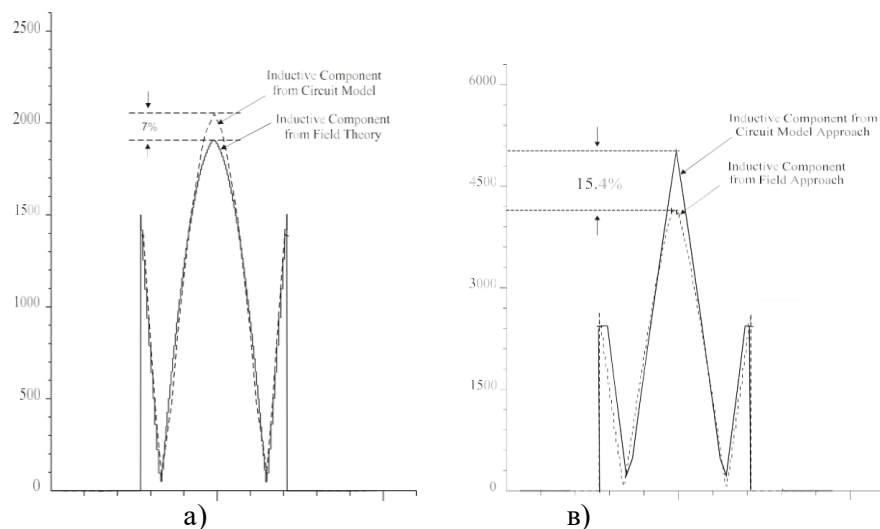


Рис. 7. Напряжения прикосновения вдоль кабельной линии из-за индуктивной составляющей: (а)-без контура заземления; (в)-с контуром заземления

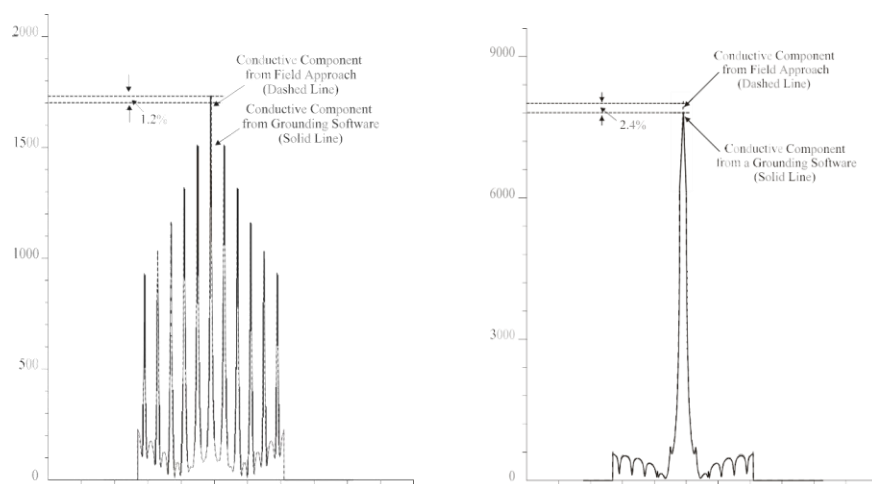


Рис. 8. Напряжение прикосновения вдоль кабельной линии из-за активной компоненты (а) - без контура заземления); (в) - с контуром заземления [11]

Для уменьшения вероятности несанкционированного срабатывания систем защиты и управления насосным агрегатом, предлагается использовать в качестве резервного абсолютно независимый источник, минимизирующий ущерб от электромагнитных помех. Основное назначение источник бесперебойного питания (ИБП) - выработка электроэнергии, на показатели которого, переходные процессы в энергосистеме не оказывают влияния, т.е. ИБП не может быть источником электромагнитных помех. Согласно [12] источник бесперебойного питания состоит из:

1. Независимого источника энергии;
2. Преобразователей энергии;

3. Переключателей;
4. Устройства хранения электроэнергии (например, аккумуляторных батарей).

Требования к ИБП. ИБП должен обеспечивать питанием электрическую нагрузку, критичную к наличию питания с нормальными параметрами питающей сети, например, схемы управления автоматики.

ИБП должен иметь возможность корректировать выходные параметры.

Схема построения ИБП должна минимизировать время переключения нагрузки на питание от независимых источников.

Наряду с выполнением требований 1,2,3, ИБП должен обеспечить качество электрической энергии, которое должно соответствовать ГОСТ 13109-97. ГОСТ 13109-97 определяет следующие нормы в электропитающей сети: напряжение $220 \text{ В} \pm 5 \%$ (предельные значения $\pm 10 \%$); частота, $50 \text{ Гц} \pm 0,2 \text{ Гц}$ (предельные значения $\pm 0,4 \text{ Гц}$); коэффициент нелинейных искажений формы напряжения *менее* 8% (длительно), и *менее* 12% (кратковременно) [13].

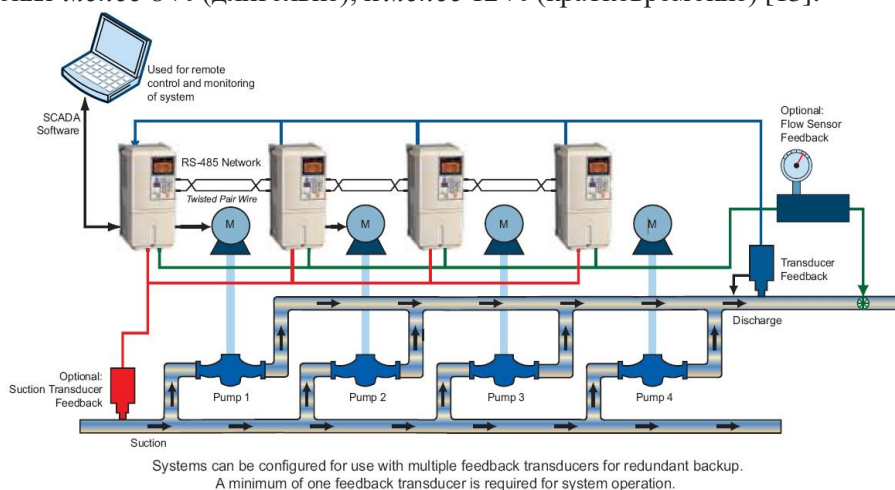


Рис. 9. Схема систем управления и защиты насосной станции

Источниками электрической энергии, которые полностью отвечают вышеприведённым требованиям, а также гарантирующие отсутствие электромагнитных помех, могут быть солнечная батарея, ветрогенератор и т.д. [3]. В нашем случае, на насосной станции установлены комплект шкафов типа Control LC(D)10s для управления работой магистральных насосов и шкафы релейной защиты типа ШЭЛТ, рис. 9.

Обе системы имеют высокую степень надежности и оснащены 2х сторонним питанием в комплектации с АВР (системой автоматического включения резерва) [14]. С учетом вышеизложенного, а также количества солнечных дней в году для питания приборов контроля и защиты на крупных насосных станциях, в качестве ИБП, мы предлагаем установить комплект солнечная батарея - сетевой инвертор. Общий вид ИБП (солнечная батарея-инвертор) и блок схема представлены на рис. 10 и 11.



Рис.10. Общий вид ИБП - солнечная батарея-инвертор



Рис.11. Блок схема ИБП: солнечная батарея - контроллер - АБ - инвертор

В основном инверторы используются для снабжения потребителей 1 и 2 категорий надежности. Основной показатель работы инверторов — это форма кривой выходного напряжения и тока. В зависимости от формы кривой инверторы бывают: с «чистой синусоидой» на выходе и с «квазисинусоидой» на выходе. Инверторы с «чистой синусоидой» используются для питания измерительных приборов высокой точности, потому что форма кривой тока и напряжения инвертора намного чище, чем в общей сети. С этой точки зрения они подходят для питания систем защиты и управления насосной станции [15].

Выводы. 1. Проблема электромагнитных помех в системах управления и защиты насосных станции является актуальной, ее актуальность увеличивается по мере усовершенствования систем.

2. Электромагнитные помехи, создаваемые подстанцией энергосистемы на измерительных кабельных линиях, были проанализированы с использованием теории электромагнитного поля.

3. Рассмотрены механизмы помех систем питания переменного тока путем разделения эффектов каждой отдельной компоненты, т. е. индуктивного, активного и емкостного.

4. Контур заземления подстанции сильно влияет на распределение и величину как активных, так и индуктивных токов. Чтобы учесть эти эффекты, необходимо провести точный анализ заземления.

5. Индуктивные и активные помехи, рассчитанные с использованием теории поля, сравнивались с результатами, полученными с помощью математической модели системы с контуром заземления и без него. Максимальная разница между двумя подходами составляет менее 15 % для исследованных случаев.

6. Используя возобновляемый, нетрадиционный источник энергии для питания систем управления и защиты, мы безусловно выигрываем: за счет повышения уровня надежности работы и за счет гарантированного отсутствия электромагнитных помех. Достигается экономия электрической энергии за счет питания систем управления в светлое время суток от источника нетрадиционной мощности.

7. Для получения максимального эффекта, рекомендуется использовать ИБП (солнечная батарея-контроллер – аккумуляторная батарея - инвертор) в светлое время суток как основной источник, в темное время суток как резервный источник. Следует заметить, что именно в дневное время в питающей сети появляется много электромагнитных помех. В этом случае эффект от использования ИБП наибольший.

Литература

1. Electromagnetic interference Kanghwan Kim, . Euisik Yoon, in [Semiconductors and Semimetals](#), 2021.
2. Electromagnetic Interference Shielding.
3. R.K. Kotnala, Jyoti Shah, in [Handbook of Magnetic Materials](#), 2015.
4. M. J. Frazier, “Utility Corridor Design: Transmission Lines, Railroads, and Pipelines”, EPRI Report EL- 4147, July 1985.
5. A. Selby and F. P. Dawalibi, “Determination of Current Distribution in Energized Conductors for the Computation of Electromagnetic Fields”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 2, April 1994, pp. 1069-1078.
6. L. Greev and F. P. Dawalibi, “An Electromagnetic Model For Transients in Grounding Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, November 1990, pp. 1773-1781.
7. F. P. Dawalibi, J. Ma, and Y. Li, “On the Mechanisms of Electromagnetic Interference between Electrical Power Systems and Neighboring Pipelines”, NACE, Orlando, March 2000.
8. F. P. Dawalibi, J. Ma, and Y. Li, “Mechanisms of Electromagnetic Interference between Electrical Networks and Neighboring Metallic Utilities”, APC, Chicago, April 1999.
9. R. D. Southey, F. P. Dawalibi and J. Ma, “Cost- Effective Mitigation of AC Voltages in Pipelines Located Close to Electric Transmission Lines”, Proceedings

of International Conference on Electromagnetic Compatibility, ICEMC'95 KUL, Kuala Lumpur, Malaysia, April 11-13, 1995, pp. 124- 131.

10. Electromagnetic compatibility in the electric power industry Kharlov N.N. Textbook Tomsk Polytechnic University, 2007. - P. 207.

11. Vagin G.Ya, Loskutov A B, Sevastyanov A A, Electromagnetic Compatibility in the Power Industry; Tutorial; Nizhny Novgorod Technical University, 2004. - P. 214.

12. Kuzhekin I P Fundamentals of electromagnetic compatibility of modern power electrical equipment. MPEI Publishing House, Moscow 2007. - P. 207.

13. GOST 27699-U.P S. systems for AC receivers. Specifications.

14. Gurevich V.I. Relay protection power supply device; Publishing house "In-fra-Engineering" Moscow 2013.

15. Adilov Ya. T., Nazarov O .A The use of renewable energy sources to improve the reliability of the operation of control and protection systems of pumping stations International scientific journal "Young Scientist". No. 18 (152). May 2017. - P. 21.

*Представлено НИУ ТИИИМСХ и Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.314

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

И.Х. Холиддинов, М.М. Холиддинова

Таклиф этилаётган мақолада истеъмолчиларнинг электр энергияси сифатига таъсирини баҳолашнинг умумий усуллари: истеъмолчининг кучи, актив қувват бузилишининг йўналиши (белгиси), истеъмолчи ёқилганда ёки ўчирилганда электр энергиясининг сифати ўзгариши, шунингдек автоном кучланиш бузилишининг хусусиятлари ва таъсир коэффициенти бўйича баҳолаш усуллари таҳлили келтирилган. Электр энергияси сифат кўрсаткичларининг ўзгаришига носинусоидал юклама билан истеъмолчиларнинг таъсирини аниқлаш хусусиятлари кўриб чиқилган. Ночизиқли ва носиметрик юкламаларга эга электр тизимларида электр энергиясининг сифатини кейинчалик нормаллаштириш учун рухсат этилмаган кучланиш бузилишларининг айбдорларини аниқлаш учун ушбу вазифанинг аҳамияти ва уни ҳал қилиш зарурати қайд этилган. Истеъмолчининг қуввати усулида истеъмолчининг юкламалари қуввати ва умумий уланиш нуқтасидаги қисқа туташув қуввати ўртасидаги нисбат истеъмолчининг кучланиш бузилишига таъсир қилиш имкониятини баҳолаш мезони сифатида олинган. Электр қабул қилувчиларни умумий уланиш нуқтасидаги кучланиш бузилиши ва таҳлил қилинган юкламанинг уланишидаги ток бузилиши орасидаги силжии бурчаги бўйича (актив қувват бузилишининг белгиси бўйича) бузилиш ва бузилмасликни аниқлаш усули кўриб чиқилган. Автоном кучланиш бузилишининг хусусиятлари ва таъсир коэффициенти асосланган баҳолаш усули берилган, бу ерда автоном кучланиш бузилиши таъсирнинг хусусиятини баҳолаш учун асосий параметр сифатида ишлатилган. Таъсирни ўлчаш учун таъсир коэффициентлари бўлган жадвал тақдим этилган.

В предлагаемой статье приведен анализ распространенных методов оценки влияния потребителей на качество электроэнергии: по мощности потребителя, по направлению (знаку) активной мощности искажения, по изменению показателей качества электроэнергии при включении или отключении потребителя, а также метод оценки по характеристикам автономного напряжения искажения и коэффициента влияния. Рассматриваются особенности определения влияния потребителей с несинусоидальной нагрузкой на изменение показателей качества электроэнергии. Отмечена важность этой задачи и необходимость её решения с целью выявления виновников недопустимых искажений напряжения для последующей нормализации качества электроэнергии в энергосистемах с нелинейными и несимметричными нагрузками. В методе по мощности потребителя в качестве критерия для оценки возможности влияния потребителя на искажение напряжения используются соотношения между мощностью нагрузок потребителя и мощностью короткого замыкания в точке общего присоединения. Рассмотрен метод выявления искажающих и неискажающих электроприёмников по углу сдвига

между напряжением искажения в точке общего присоединения и током искажения на присоединении анализируемой нагрузки (по знаку активной мощности искажения). Приведен метод оценки по характеристикам автономного напряжения искажения и коэффициента влияния, где в качестве основного параметра, по которому производится оценка характера влияния, использовалось автономное напряжение искажения. Для количественной оценки влияния приведена таблица с коэффициентами влияния.

The proposed article provides an analysis of common methods for assessing the impact of consumers on the quality of electricity: by the power of the consumer, by the direction (sign) of the active distortion power, by the change in the quality of electricity when the consumer is turned on or off, as well as the method of evaluation by the characteristics of the autonomous distortion voltage and the coefficient of influence. The features of determining the influence of consumers with a non-sinusoidal load on the change in electricity quality indicators are considered. The importance of this task and the necessity of its solution are noted in order to identify the culprits of unacceptable voltage distortion for the subsequent normalization of the quality of electricity in power systems with nonlinear and asymmetric loads. In the consumer power method, the ratio between the power of the consumer's loads and the short-circuit power at the point of common connection is used as a criterion for assessing the possibility of the consumer's influence on voltage distortion. The method of detecting distorting and non-distorting electric receivers by the angle of shift between the distortion voltage at the point of common connection and the distortion current at the connection of the analyzed load (by the sign of the active distortion power) is considered. The method of evaluation based on the characteristics of the autonomous distortion voltage and the coefficient of influence is given, where the autonomous distortion voltage was used as the main parameter for assessing the nature of the influence. To quantify the impact, a table with influence coefficients is provided.

Введение. Электроэнергетика является базовой отраслью экономики Узбекистана, стратегически важной для государства. Поэтому вопросы развития энергетики всегда находятся в центре внимания руководства республики, и они решаются последовательно [1].

Как известно, в условиях рыночных отношений любой полезный продукт превращается в товар, а отношения производителя и потребителя продукта – в отношение продавца и покупателя, основанные на рыночном принципе баланса спроса и предложения при одновременном государственном регулировании общих правил рынка. В этих условиях электроэнергия приобретает статус товара, энергоснабжающая организация – статус продавца, потребитель – статус покупателя энергии [2].

Качество - одно из важнейших свойств электроэнергии [3]. Стандарты [4] устанавливают допустимые значения для характеристик качества электроэнергии.

Однако электроэнергия обладает специфическими свойствами, не присущими другим видам продукции. Процесс производства, передачи и потребления электроэнергии непрерывен во времени, а качество в части

некоторых свойств зависит не только от энергоснабжающей организации, но и от самих потребителей [4].

Нормируется электроэнергия несколькими показателями качества, среди которых есть несинусоидальность и несимметрия напряжений [3].

Основная часть. В точке общего присоединения электрической сети могут находиться несколько потребителей, для которых показатели качества электроэнергии будут одинаковыми. При этом влияние каждого из потребителей на искажение напряжения может быть различным [5-7].

Имеется множество подходов к задаче оценки влияния потребителей на искажение напряжения в точке общего присоединения (ТОП). Некоторые из них [8-10] позволяют дать только качественную оценку влияния потребителей и определить положительный или отрицательный характер их влияния на качество электроэнергии. Другие методики [11-14] позволяют помимо качественной оценки, дать количественное выражение степени влияния и установить, какой из потребителей ухудшает качество электроэнергии или страдает от него в большей степени, а какой - в меньшей степени. Последний подход также позволяет создать методику для стимулирования искажающих потребителей к нормализации качества электроэнергии.

Оценка по мощности потребителя. Метод оценки влияния потребителей на качество электроэнергии по их мощности представлен в работах [15-17], а также в нормативном документе [18]. Положения метода излагаются далее в соответствии с [18] на примере несинусоидальности напряжения. При несимметрии напряжений выявление источников искажений выполняется аналогично.

В [18] предлагается выделять в ТОП объекты с искажающими электроприёмниками, оказывающими влияние на несинусоидальность напряжения в ТОП. Для выявления таких объектов следует:

1) вычислить значение a как отношение разрешенной мощности объекта $S_{\text{разр.}}$ к наименьшей мощности короткого замыкания в ТОП $S_{\text{КЗ нм.}}$ (в процентах):

$$a = \frac{S_{\text{разр.}}}{S_{\text{КЗ нм.}}} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Допустимые значения отношения $a_{\text{доп.}}$ для ТОП в электрических сетях:

– 6 кВ и выше – $a_{\text{доп.}}$ не более 0,3 %;

– 0,22/0,38 кВ – $a_{\text{доп.}}$ не более 0,2 %.

Если $a \leq a_{\text{доп.}}$, то рассматриваемый объект относят к группе объектов с электроприемниками, не оказывающими влияние на несинусоидальность напряжения в ТОП.

Если $a > a_{\text{доп.}}$, то на основе состава нагрузок объекта необходимо определить суммарную установленную мощность искажающих электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой $S_{\text{иск.}}$.

2) вычислить значение a_1 как отношение суммарной установленной мощности искажающих электроприемников объекта $S_{\text{иск.}}$ к наименьшей мощности короткого замыкания в ТОП $S_{\text{КЗ нм.}}$ (в процентах):

$$a_1 = \frac{S_{\text{иск.}}}{S_{\text{КЗ нм.}}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Если $a \leq a_{доп.}$, то данный объект также относят к группе объектов с искажающими электроприемниками, не оказывающими влияние на несинусоидальность напряжения в ТОП.

Если $a > a_{доп.}$, то объект относят к группе объектов с искажающими электроприемниками, создающими несинусоидальность напряжения в рассматриваемой ТОП.

Данный способ выявления потенциально искажающих потребителей не учитывает возможность возникновения значительных напряжений высших гармоник при работе нелинейного потребителя даже малой мощности в случае резонанса во внешней относительно потребителя сети.

Оценка по знаку активной мощности искажения (по углу между напряжением и током искажения). Метод оценки влияния потребителей на качество электроэнергии по направлению активной мощности искажения впервые предложен в [19] и получил своё развитие в работах [20]. Также метод использовался в [18] при выявлении искажающих и неискажающих потребителей. Основные положения метода рассмотрим на примере несинусоидальности напряжения.

Для потребителей, оказывающих влияние на напряжение высших гармоник в ТОП, предлагается определить фазовый угол сдвига между напряжением исследуемой высшей гармоники в ТОП и одноименным током высшей гармоники на присоединении каждого из потребителей. Те потребители или энергоснабжающая организация, у которых фазовый угол сдвига φ_{UInk} между n -ой гармонической составляющей напряжения в ТОП $\dot{U}_{n\text{ТОП}}$ и n -ой гармонической составляющей тока k -ой линии или энергоснабжающей организации \dot{I}_{nk} больше $+90^\circ$ или меньше -90° , считаются содержащими источник n -ой гармонической составляющей тока \dot{I}_{nk} . Если же фазовый угол сдвига φ_{UInk} между теми же величинами меньше $+90^\circ$ или больше -90° , то объект, присоединенный к k -й линии, на рассматриваемом интервале усреднения не содержит источник n -ой гармонической составляющей тока \dot{I}_{nk} и эквивалентен пассивному элементу с сопротивлением Z_{nk} . Аналогичным образом метод может быть описан с использованием знака активной мощности искажения на присоединении потребителя. Отрицательная активная мощность искажения на присоединении участника системы электроснабжения (СЭС) согласно [18], указывает на наличие у него источников искажения, положительная мощность – на их отсутствие.

Знак активной мощности искажения зависит от аргументов двух величин – напряжения искажения $\dot{U}_{иск.}$ и тока искажения $\dot{I}_{Tиск.}$ на присоединении исследуемого потребителя:

$$\text{sgn } P_{иск.} = \text{sgn} \left[\cos(\arg \frac{\dot{U}_{иск.}}{\dot{I}_{Tиск.}}) \right]. \quad (3)$$

При этом искажающий потребитель независимо от других участников СЭС влияет только на фазу собственного тока искажения, которая согласно [17] зависит от фазы тока основной частоты. Однако напряжение искажения в ТОП, очевидно, определяется всеми N участниками СЭС по выражению:

$$\dot{U}_{иск.} = \frac{\sum_{i=1}^N \dot{I}_{иск. i}}{\sum_{i=1}^N Y_{иск. i}} ; \quad (4)$$

где $\dot{I}_{иск. i}$, $Y_{иск. i}$ – соответственно, токи искажения и проводимости участников СЭС, N – число участников СЭС в данной ТОП.

Поскольку по (4) фаза напряжения искажения $\dot{U}_{иск.}$ зависит не только от фазы тока $\dot{I}_{Tиск.}$, то и знак активной мощности искажения на присоединении каждого из потребителей может меняться в широких пределах.

Оценка по изменению напряжения искажения при отключении или подключении потребителя. Метод расчета фактического вклада потребителя по изменению показателей качества электроэнергии при его включении и отключении представлен в [12]. Фактический вклад потребителя в напряжение искажения P_{Φ} предлагается определять как разность между значениями показателей качества электроэнергии при включенном $P_{В}$ и при отключенном $P_{О}$ потребителе:

$$P_{\Phi} = P_{В} - P_{О} . \quad (5)$$

Такой подход к определению меры влияния потребителя на показатели качества электроэнергии наиболее прост, однако требует отключения участника СЭС для оценки его фактического вклада, что затрудняет его применение для действующих энергообъектов. Кроме этого недостатком метода оценки фактического вклада потребителя по изменению показателей качества электроэнергии является неучет векторного характера параметров схемы замещения и, как следствие, некорректное определение источников искажений напряжения.

Оценка влияния потребителей на искажения напряжения по характеристикам автономного напряжения искажения и коэффициента влияния. Для количественной оценки влияния k -го участника СЭС на искажение напряжения в ТОП может быть введено понятие коэффициента влияния [14]:

$$K_{вл. k} = \frac{U_k^{авт.} - U_{иск. доп.}^{корр.}}{U_{иск. доп.}^{корр.}} = \frac{U_k^{авт.}}{U_{иск. доп.}^{корр.}} - 1 . \quad (6)$$

Коэффициент влияния может принимать значения от -1 до $+\infty$: если $K_{вл. k}$ отрицателен, то k -й участник СЭС оказывает положительное влияние на $U_{иск. топ}$: его отключение приводит к увеличению напряжения искажения в ТОП. При минимальном $K_{вл. k} = -1$ k -й участник СЭС не имеет источников искажения и в схеме замещения представлен только проводимостью Y_k ;

Таблица 1

Возможные значения параметров схем замещения и соответствующие им автономные напряжения искажения и коэффициенты влияния [14]

Значения параметров схем замещения	Автономное напряжение	Коэффициент влияния
$I_k = 0; Y_k \neq 0$	$U_k^{авт.} = 0$	$K_{вл. k} = -1$
$Y_k = 0; I_k \neq 0$	$U_k^{авт.} \rightarrow +\infty$	$K_{вл. k} \rightarrow +\infty$
$I_k \neq 0; Y_k \neq 0$	$U_k^{авт.} < U_{иск. доп.}^{корр.}$	$K_{вл. k} < 0$
	$U_k^{авт.} = U_{иск. доп.}^{корр.}$	$K_{вл. k} = 0$
	$U_k^{авт.} > U_{иск. доп.}^{корр.}$	$K_{вл. k} > 0$

- если $K_{вл. k} = 0$, то k -й участник СЭС имеет $U_k^{авт.} = U_{иск. доп.}^{корр.}$. Подключение или отключение субъекта не изменяет напряжение искажения в ТОП;

- если $K_{вл. k}$ положителен, то k -й участник СЭС оказывает отрицательное влияние на напряжение искажения в ТОП: его отключение вызывает снижение $U_{иск. топ.}$. Чисто искажающий k -й участник СЭС представлен в схеме замещения только током искажения и имеет $K_{вл. k} \rightarrow +\infty$ [14].

Окончательно возможные значения параметров схем замещения и соответствующие им автономные напряжения искажения и коэффициенты влияния представлены в табл. 1.

Таким образом, предложенный метод позволяет правильно и точно определить, является ли допустимым влияние участника СЭС на искажение напряжения. Количественно влияние k -го участника СЭС оценивается с помощью коэффициента $K_{вл. k}$. Последний параметр может быть использован для создания способа экономического регулирования взаимоотношений между поставщиками и потребителями электроэнергии в части показателей качества электроэнергии, связанных с несимметрией и несинусоидальностью.

Выводы. Из вышеуказанного следует, что использование данных методов позволяет выявить возможные проблемы на исследуемом объекте и отталкиваясь от этого принять необходимые меры для эффективной работы электрической сети.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития.–Т: Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. 2021. –952 с.
2. Аллаев К.Р. Ўзбекистон электр энергетикаси ва унинг ривожланиш истикболлари.–Т: Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. 2017. –310 с.
3. Аллаев К.Р., Холиддинов И.Х. Холиддинова М.М. и др. Обеспечение качества электрической энергии / –Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. 2019. –207 с.
4. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. Холиддинов И.Х., Шаисматов С.Э., Холиддинова М.М. Алгоритм определения уровня несинусоидальности напряжения, создаваемая электроустановками // Научно-технический журнал ФерПИ. - Фергана, 2020. – Том 24 спец. вып. №1. - С. 61-66 с.
6. Холиддинов И.Х., Шаисматов С.Э. Расчет высших гармонических составляющих токов и напряжений и оценка их влияния на работу трансформаторов. // Проблемы энергетике и информатики, 2018. – № 3-4. – С. 107-111.
7. Холиддинов И.Х., Шаисматов С.Э. Моделирование распределительной сети с нелинейной нагрузкой для анализа снижения высших гармоник. // Проблемы энергетике и информатики, 2019. – № 1-2. – С. 57-62.
8. Железко Ю.С. Применение скидок и надбавок к тарифам за качество

электроэнергии / Ю. С. Железко, С. А. Живов // Промышленная энергетика. – 1990. – №11.

9. Никифорова В. Н. Метод определения фактического вклада субъекта, имеющего искажающие электроприёмники, обусловившие несоответствие показателей качества электроэнергии / В. Н. Никифорова, А. Н. Лушнова // Технологии электромагнитной совместимости. – 2002. – №1(4).

10. Поддубных Л. Ф. Модель определения скидок и надбавок к тарифу за компенсацию реактивной мощности и качество электроэнергии / Л.Ф. Поддубных // Электричество. – 1994. – №6.

11. Амеликина Н. А. Определение фактического вклада несимметричных потребителей в искажение качества электроэнергии в точке общего присоединения / Н. А. Амеликина, С. С. Бодрухина, С. А. Цырук // Электрика. – 2005. – №4.

12. Висящев, А. Н. Определение ДВП электрической энергии в ухудшение её качества / А. Н. Висящев, И. И. Луцкий, С. Г. Тигунцев, О. И. Баглейбтер / Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Тезисы докладов ежегодной Международной научно-технической конференции. – Иркутск : ИрГТУ, 2000.

13. Гамазин С. И. Определение фактического вклада потребителя в искажение параметров качества электрической энергии / С. И. Гамазин, В. А. Петрович, В. Н. Никифорова // Промышленная энергетика. – 2003. – №1.

14. А.С. Афанасенко, Д.С. Федосов. Оценка влияния потребителей и энергоснабжающей организации на искажение напряжения в точке общего присоединения // ВЕСТНИК ИрГТУ, №11 (58), 2011.

15. George, T. A. Harmonic power flow determination using the Fast Fourier Transform / T. A. George, D. Bones // IEEE 1990 Summer Meeting, paper 90 SM 316-0 PWRD (CC 02 IWD 9051).

16. Inoue, M. Simple estimations for finding the generating source of a harmonic current and its equivalent circuit / M. Inoue // Trans. IEE of Japan, Vol. 101-B, No. 8, August 1981 (CC02 IWD 8305).

17. Wilson. Use of harmonic power flow calculation to locate harmonic sources. Contribution to Group 36, CIGRE 92, 02.09.92 (CC02 IWD 92157).

18. РД 153-34.0-15.501-00, РД 153-34.0-15.502-2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : В 2 ч. – М.: Энергосервис, 2003. – Ч. 1-2.

19. 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.

20. Сендерович Г.А. Определение долевого участия субъектов в ответственности за нарушение симметрии напряжений / Г.А. Сендерович // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – № 11(186).

*Представлено Ферганским
политехническим институтом*

УДК 621.565.93

ВЕНТИЛЯТОРЛИ ГРАДИРНЯ НАСАДКА ҚИСМИНИ МАТЛАВ ДАСТУРИДА ТАХЛИЛ ҚИЛИШ

Д.Н. Мухиддинов, Ш.С. Санаев

Мақолада очиқ турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнянинг иссиқлик алмашинув-насадкали трубадаги суюқлик температурасининг иссиқлик-масса алмашинуви температурасини ҳисоблаш блоқи, ҳаво температурасини ҳисоблаш блоқи, масса алмашинуви ва мувознат шароитларини ҳисоблаш блоқлари киритилган ҳолатда очиқ турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнянинг компьютер моделини қуриш амалга оширилган.

В статье построена компьютерная модель теплообменно-трубчатой вентиляторной градирни открытого типа с использованием блока расчета температуры теплообмена жидкости в теплообменно-трубном трубопроводе открытого типа для случая теплообменно-трубчатой вентиляторной градирни, а также реализованы блок расчета температуры воздуха, блоки расчета теплообмена и условий равновесия.

In the article, a computer model of an open-type heat exchange-tube fan cooling tower is built in the case where the unit for calculating the heat-mass exchange temperature of the liquid temperature in the heat exchange-tube pipe of the open-type heat exchange-tube fan cooling tower, the air temperature calculation block, the mass exchange and equilibrium conditions calculation blocks is implemented. increased.

Очиқ турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнядаги сувни совитиш жараёнини математик моделлаштириш квазиэлементдаги сув температурасини ҳисоблаш тенгламалар системаси асосида амалга оширилади [1,2]. Совитиш жараёнлари параметрларини аниқлаш имконини берадиган тенгламалар системасини ёзамиз:

$$t_i = (G_{j+1} * c * t_{j+1} - \Delta G_i + \alpha * F * t_{в,j-1}) / ((G_0 - \sum_{j-n}^j \Delta G) * c + \alpha * F); \quad (1)$$

$$X_j = \beta_j * F_j (X^* - X_{j-1}) / m_j; \quad (2)$$

$$\Delta G_{в} = G_{в,j-1} (X_{j-1} - X_j); \quad (3)$$

бу ерда:

$$X^* = \frac{P}{P_0}; \quad (4)$$

$$P = P_0 * X_{j-1}^{*M}; \quad (5)$$

$$G_0; = \frac{G_{в}}{X_0}. \quad (6)$$

Тенгламалар системасини ечишга ёрдам берадиган тенгламалар алгоритмизацияси амалга оширилади. Бундай алгоритмизация асосида компьютерли модели шаклланди. Windows-илова сифатида амалга оширилган

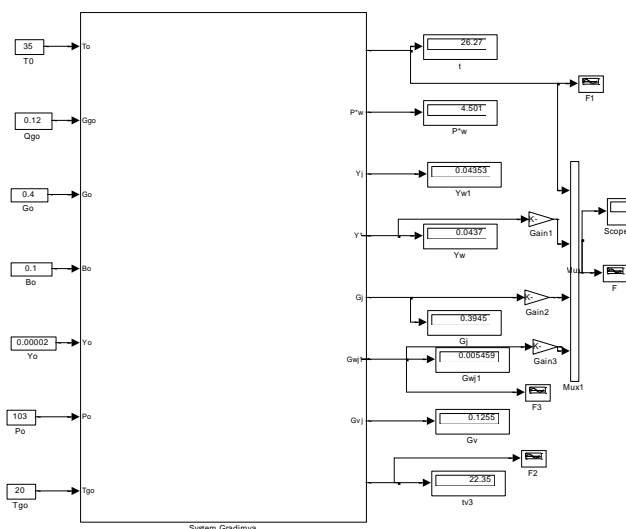
компьютер модели, мультидастурли комплекс ҳисобланиб, у Visual Basic муҳтигида ишлаб чиқилган локал маълумотлар базаси ва график фойдаланувчи интерфейси, шунингдек, Matlab муҳтигида ҳисоблаш ядроси ва график хулосасини ўз ичига олади. Компьютер модели, насадканинг геометриясини, унинг иссиқлик- масса алмашинув характеристикалари математик ифодалаб беради [1,3,4,8,].

Ўзгаришларини ҳисобга олиш мақсадида, дастурий блоklarнинг кодини мустақил модификациялаш имкони туфайли, оптималлаштирилган ҳисоблашларни олиб боришга, альтернатив вариантларни излашга мўлжалланган модулли структурага эга [11,14].

Ёки, МАТЛАБ амалий дастурида ўзгарувчилар тушунчаларидан фойдаланган ҳолда қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз

$$((u(3)*4.19*u(1))+Ktv*f*(u(4)-u(5))-(u(2)*2519))/((u(3)*4.19)+(u(2)*1.8)) \quad (7)$$

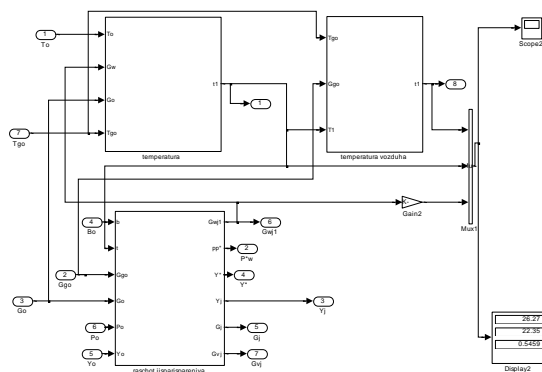
Matlab амалий дастури имкониятларидан фойдаланган ҳолда, очиқ турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнядаги сув температурасини ҳисоблаш алгоритмизацияси амалга оширилди. Бундай алгоритмизация асосида компьютер модели шаклланди [10,14]. Очиқ турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнядаги сувни совитиш динамик жараёнларини компьютер модели системанинг моддий баланси ва блоklar моделларини бирлаштиришдан келиб чиқиб, очиқ турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнянинг компьютер модели тузилди, унда сув ва ҳавонинг температуралари тартибга солинади (1-расм).



1-расм. Очиқ турдаги вентиляторли градирнянинг иссиқлик алмашинув-насадкали квазиаппаратининг компьютер модели

Иссиқлик алмашинув квазиаппаратидаги иссиқлик- масса алмашинув жараёнларининг компьютер моделининг кириш параметрлари қуйидагилардир: кировчи ҳавонинг бошланғич сарфи G_{g0} , сувнинг ва ҳавонинг бошланғич температуралари T_0 , аппаратдаги босим P_0 , суяқлик сарфи G_0 , ҳавонинг

бошланғич намлиги Y_0 . Чиқиш параметрлари: чиқишдаги хавонинг кўрғазмали сарфи G_g , кўрғазмали температура T , аппарат босими P , суюқлик сарфи G .



2-расм. Очiq турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнянинг квазиаппаратидаги жараённинг компьютерли моделининг элементлари

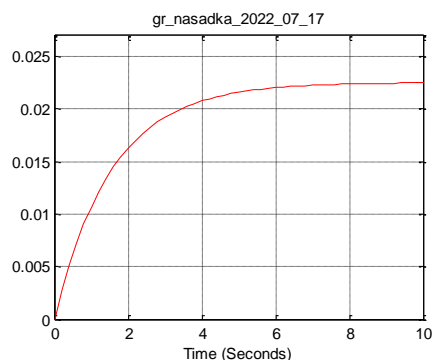
-иссиқлик алмашинув-насадкали трубадаги суюқлик температурасини ҳисоблаш блоки;

-ҳаво температурасини ҳисоблаш блоки; масса алмашинув ва мувозанат шартларини ҳисоблаш блоки

2-расмда очiq турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градирнянинг квазиаппаратидаги жараённинг компьютерли моделининг элементлари кўрсатилган: компьютер модели элементлари: иссиқлик алмашинув-насадкали трубада суюқлик температурасининг иссиқлик-масса алмашинувини ҳисоблаш блоки; ҳаво температурасини ҳисоблаш блоки; масса алмашинув ва мувозанат шартларини ҳисоблашнинг блоки. Суюқ ва ҳаво фазалари орасидаги иссиқлик- масса алмашинувини ҳисоблаш ўз ичига учта блокни ва бир қатор элементларни олади, уларнинг зарурий чиқиш параметрларини рўйхатга олишни амалга оширади [7,8,13,14].

Агар хавонинг температураси 30°C бўлса, иссиқлик алмашинув-насадкали трубадаги ҳаво температураси вақт бўйича 31°C ўсиб тўхтайд. Демак, хавонинг температураси сувнинг температурасидан кам бўлса, температураси вақт бўйича ўсади.

Қуйидаги 3-расмда кўриниб турибдики, иссиқлик алмашинув-насадкали квазиаппаратнинг иссиқлик алмашинув-насадкали трубадаги жараённи ишга тушириш динамикасида, ҳаво температурасининг вақтга боғлиқлиги белгиланган ҳолатгача пасаяди.



3-расм. очик турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли градириянинг иссиқлик алмашинув-насадкали квазиаппаратдаги сувнинг ҳавога буғланиш сарфининг вақт бўйича ўтиш жараён графиги

3-расмда очик турдаги иссиқлик алмашинув-насадкали вентиляторли квазиаппаратда ҳавога буғланаётган сувнинг вақтга боғлиқлигининг ўтиш жараёни эгриси кўрсатилган. Вақт ўтиши билан вақт бўйича ҳавога буғланаётган сув сарфи динамикаси белгиланган холатгача ортиб боради [11,12,14].

Адабиёт

1. Лаптев А.Г., Варахов М.И. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике. Пособие к расчету аппаратов. Казань: Изд-во Казан. Ун-та, 2008. https://ingehim.ru/images/Laptev_Farakhov_2008_Hydromechanical_processes_in_petrochemistry_and_power_engineering.pdf.
2. Пушнов А.С., Каган А.М. . Структура и гидродинамика колонных аппаратов с насадкой. Введение в химический инжиниринг. СПб.: Из-во политехн. Ун-та, 2011.
3. Каган А.М, Пушнов А.С, Юдина Л.А. К вопросу о связи гидравлического сопротивления нерегулярных теплообменных насадок с их эффективностью // Химическая промышленность. 2011 Т. 88. № 2. -С. 75-81.
4. Дмитриева Г.Б. Гидродинамика и массообмен в структурированных насадках из гофрированных листов: автореф. Дис. ... канд. Техн. Наук. Иваново: МГУИЭ. 2007.
5. Лаптев А.Г. Модели пограничного слоя и расчет теплообменных процессов. -Казань. Ун-т, 2007. https://ingehim.ru/images/Laptev_2007_Models_of_boundary_layer_and_calculations_of_heat_and_mass_transfer_processes.pdf.
6. Артиков А.А., Джураев Х.Ф., З.А Машарипова, Баракаев Б.Н. Системное мышление, анализ и нахождение оптимальных решений (на примерах инженерной технологии). –Бухара:Дурдона. 2020. -185 с.
7. Артиков А.А. Тизимли тахлилга кириш. Свидетельство о депонировании объектов авторского права № 000300. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. 10.11.2016.
8. Артыков А. Компьютерные методы анализа и синтеза химико-технологических систем. учеб. –Ташкент:Ворис нашриёт. - 2012. -160 с.

9. Лаптев А.Г., Николаев Н.А., Башаров М.М. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных и моделирования тепломассообменных процессов: учеб.-спрв. Пособие. -М.: Теплотехник, 2011.

10. Характеристики эффективных промышленных насадок для испарительного охлаждения оборотной воды в градирнях // А.М. Каган, А.С. Пушнов, М.Г. Беренгартен и др. // Химическое и нефтяное машиностроение. 2009. -№ 7. -С. 11-13.

11. Калатузов В.А. Расчетные зависимости оросителей градирни // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 1 (69). -С. 62-66. <https://www.spirtpromproekt.ru/wp-content/uploads/2018/11/Posobie-proektirovaniyu-gradiren-k-SNiP-2.04.02-84.pdf>.

12. Рябушенко А.С. Гидродинамика и испарительное охлаждение в насадках для градирен: дис. канд. Техн. Наук. М.: МГУИЭ, 2009.

13. Лаптев А.Г., Фарахов Т.М. Модель массоотдачи в зернистых и насадочных слоях // Изв. Вузов. Сер. Химия и химическая технология. 2013. Т. 56. -№ 6. -С. 92-96.

14. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / А.М. Каган, А.С. Пушнов, А.Г. Лаптев, М.И. Фарахов; /под ред. А.Г. Лаптева. - Казань: Отечество, 2013.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

UDK 620.9

**ISSIQLIK MARKAZLARIDAGI KVGM-100-150 ISSIQ SUV
QAZONIDA YOQILG'I VA HAVO TA'MINOTINI JADALLASHTIRISH
HISOBIGA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH**

B.S. Xurramov, R.A. Zaxidov, J.A. Normuminov

Ushbu maqolada gazsimon va suyuq yoqilg'i zaxiralarining holati va ularning jahon energetika sohasidagi ulushi ko'rsatilgan. gazsimon va suyuq yoqilg'ilarida ishlaydigan isitish qozonlari atrof-muhit havosini ifloslantirishi jiddiy muammolardan biridir. Bugungi kunga kelib tuman qozonxonalarida aholini issiq suv bilan uzluksiz ta'minlash maqsadida keragidan ortiq yoqilg'i sarflanish holatlarini ko'rishimiz mumkin. Biroq, sinov jarayonida yoqilg'ini yoqish moslamalarini sinovdan o'tkazish natijasida olingan ma'lumotlar haqiqiy ish sharoitida foydalanilganda sezilarli darajada o'zgarishi mumkin. Yonish jarayonini to'liq qayta tashkillashtirish va uning dizaynini takomillashtirish orqali qozonning samaradorligini oshirish yo'llari ko'rsatilgan. KVGM-100-150 takomillashtirilgan suv isitish qozonining sinovlari natijalari keltirilgan va qozonning samaradorligini oshirishni ko'rsatadigan texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar aniqlanadi.

В данной статье показано состояние запасов газообразного и жидкого топлива и их доля в мировой энергетике. Одной из серьезных проблем является то, что отопительные котлы, работающие на газообразном и жидком топливе, загрязняют окружающий воздух. На сегодняшний день можно наблюдать случаи перерасхода топлива в районных котельных с целью непрерывного обеспечения населения горячей водой. Однако данные, полученные в результате испытаний топливных горелок, могут существенно измениться при использовании в реальных условиях эксплуатации. Показаны пути повышения КПД котла за счет полной реорганизации процесса горения и усовершенствования его конструкции. Приведены результаты испытаний усовершенствованного водогрейного котла KVGM-100-150 и определены показатели, свидетельствующие о повышении КПД котла.

This article shows the state of stocks of gaseous and liquid fuels and their share in the world energy. One of the serious problems is that heating boilers operating on gaseous and liquid fuels pollute the surrounding air. To date, we can observe cases of excessive fuel consumption in district boiler houses in order to continuously provide the population with hot water. However, the data obtained from testing fuel burners during testing can change significantly when used in real operating conditions. The ways of increasing the efficiency of the boiler due to the complete reorganization of the combustion process and the improvement of its design are shown. The results of tests of the improved water-heating boiler KVGM-100-150 are presented and technical and economic indicators are determined, indicating an increase in the efficiency of the boiler.

Kirish: To'g'ridan-to'g'ri yoqilg'i sifatida foydalanish bu neftni qayta ishlangandagi qoldiq mahsuloti - mazut. Mazut asosan gaz yoqilg'isi taqchilligi

davrda (masalan, uzoq muddatli sovuq havoda va er osti omborlarida yig'ilgan tabiiy gazning vaqtinchalik taqchilligi paytida) gazmazutli energiya bloklar qozonlarida yoqiladi. Ko'pincha muntazan issiqlik energiyasi bilan ta'minlashda-barqaror yonish jarayonini tashkil qilish uchun ba'zi ish rejimlarida suyuq va gazsimon yoqilg'idan foydalaniladi. Bugungi kunda mazutni doimiy ravishda yoqish foydasiz, chunki uning narxi gaz va qattiq yoqilg'iga nisbatan yuqori.

Yevropa Mamlakatlari neft mahsulotlarining umumiy zaxirasi 21% ni, Rossiyaning G'arbiy Sibir mintaqasida neft mahsulotlarining asosiy zaxirasi 72,3% ni tashkil qiladi. G'arb davlatlarida neft mahsulotlariga bo'lgan talab oshishi hisobiga tan narx ham yanada oshib bormoqda. Hozirgi kunga kelib respublikadagi qozonxonalarda issiqlik energiyasini ishlab chiqarish 100% neft-gaz yoqilg'isini yoqish hisobiga ishlab chiqariladi.

Respublikada 2017 yilda umumiy zararli gazlar chiqindilari 189,2 million tonna CO₂-ekv. o'rmon xo'jaligi sohasida CO₂ yutilishi bundan mustasno va yerdan foydalanishning boshqa turlari (O'XYFBT), va dehqon xo'jaligini hisobga olgan holda O'XYFBT sektoridagi CO₂ 177,4 million tonna CO₂ - ekv. Aholi jon boshiga zararli gazlar 5,8 tonna CO₂ - ekv/kishini tashkil etdi va YaIMning bir birligi emas - 2,55 kg/USD [1].

Gazsimon yoqilg'larni bir necha turlari mavjud: tabiiy gaz, neft qazib olish jarayonida er osti gazi, metallurgiya ishlab chiqarishida olinadigan domna va koks gazlari. O'zbekiston IES, IEM va IM qozonxonalarida asosan tabiiy gazdan foydalanadi. Tabiiy gazning asosiy afzalligi uning nisbatan ekologik xavfsizligidir. Biroq, gaz yoqilganda azot oksidi shaklida zararli moddalar hosil bo'ladi.

Energiyadan oqilona foydalanish bu tutun gazlarini minimallashtirish, Tutun gazlari tarkibidagi zararli gazlarni kamaytirish, ekotizimlarni tiklash va saqlashni talab etadi. Energiya iste'moli asosan shaharlarda 75 % ni tashkil etadi. O'zbekiston Parij bitimini ratifikatsiya qilgani va uni amalga oshirish bo'yicha majburiyatlarni o'z zimmasiga olganini alohida ta'kidlash lozim. Bu tutun gazlarni standart qiymatlarga kamaytirishni anglatadi. Mavjud so'nggi ma'lumotlarga ko'ra, har yili atmosferaga 51 milliard tonna chiqindi gazlari chiqariladi va bu raqamlar yildan-yilga ortib bormoqda. Har bir davlat esa o'z majburiyatlari va qabul qilingan rejalariga amal qilgan holda, bu vaziyatni yaxshilash jarayonida ishtirok etadi. O'zbekiston Parij kelishuviga ko'ra 2030-yilga borib zararli gazlar chiqindilarini 10 % ga kamaytirish majburiyatini olgan [2,3,4].

1-jadval

Toshkent shahridagi issiqlik ta'minoti korxonalarini tomonidan tabiiy gaz iste'molini
2018 yildan 2021 yilgacha va 2030 yilgacha tahlili

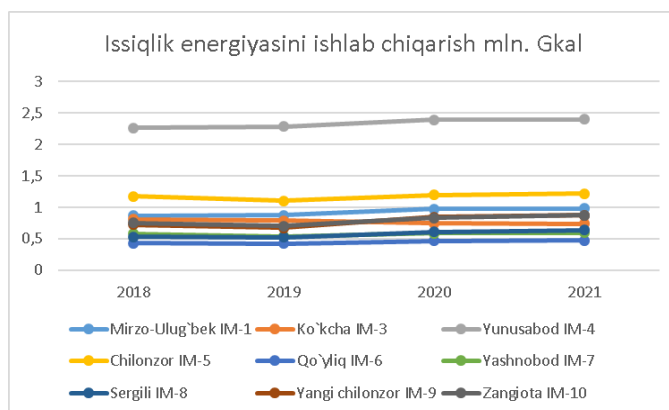
№	Qozonxonalarining nomi	Qozonlarning quvvati (Gkal/s)		2018-2021 yillar uchun tabiiy gaz iste'moli ming m ³ va 2030 yilgacha tahlili				
		Amalda	Mavjud	2018 y.	2019y.	2020y.	2021y.	2030y.
"Toshissiqquvvati" davlat unitar korxonasi balansidagi markaziy qozonxonalar								
1	Qorasuv IM-2	300,00	118,90	62590	44840	46690	47390	56636
2	Sanoatenergo	60,00	11,60	4870	4980	5220	5298	6332

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

3	Vodnik	63,40	28,30	7160	6990	7760	7876	9413
“Toshkent issiqlik markazi” davlat unitar korxonasi balansidagi markaziy qozonxonalar								
4	Mirzo-Ulug`bek IM-1	500,0	-	111600	113200	126900	128804	167444
5	Ko`kcha IM-3	400,0	-	106200	105400	98400	99876	129839
6	Yunusobod IM-4	900,0	-	296100	299000	313700	318406	413927
7	Chilonzor IM-5	700,0	-	152100	143700	153800	156107	202939
8	Qo`yliq IM-6	300,0	-	57000	56300	61400	62321	81017
9	Yashnobod IM-7	400	-	74300	70700	76800	77952	101338
10	Sergili IM-8	300	-	70000	68900	80900	82114	106747
11	Yangi chilonzor IM-9	540	-	93600	87400	109400	111041	144353
12	Zangiota IM-10	540	-	98700	92600	10300	10455	13591

Toshkent shahridagi qozonxonalarda tabiiy gazning yonishi natijasida hosil bo'lgan yillik CO₂ chiqindilari to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Yonish jarayoni boshqa zararli gazlarni ham hosil qiladi. Bu holda karbonat anhidrid CO₂ umumiy holatlarni baholash uchun ekvivalent sifatida ishlatiladi[5,6,7].



1-rasm. “Toshkent Issiqlik Markazi” DUK qozonxonalarida umumiy issiqlik energiyasini ishlab chiqarishini 2018 yildan 2021 yilgacha ko`rishimiz mumkin

Issiqlik markazlarida o`rnatilgan asosiy qozonlar: PTVM-50, PTVM-100 va KVGМ-100.

2018 yildan 2021 yilgacha bo'lgan davr uchun.

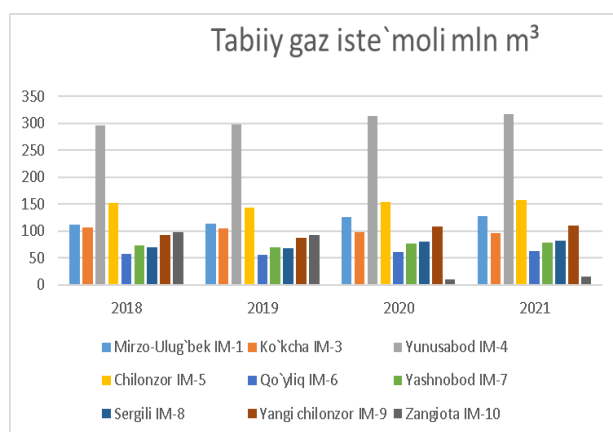
1-rasmdan ko`rinib turibdiki, tabiiy gaz iste'molining eng katta hajmi Yunusobod IM-4 qozonxonasiga to'g'ri keladi, uning iste'mol hajmi 318,2 mln.m³, shuningdek, Chilonzor IM-5, bu yerda iste'mol hajmi 157,3 mln.m³. “Toshkent issiqlik markazi” davlat unitar korxonasining qolgan qozonxonalari 50 million m³ dan 110 million m³ gacha tabiiy gaz iste'mol qiladi.

“Toshkent Issiqlik Markazi” DUKning har bir qozonxonasi bo'yicha issiqlik energiyasi ishlab chiqarish va tabiiy gaz iste'molini alohida tahlil qilamiz.

Mavjud ma'lumotlarni tahlil qilish natijasida quyidagilar aniqlandi.

“Toshissi-quvvati” DUK qozonxonalari orasida tabiiy gaz iste'molining eng katta hajmi Yunusobod IM-4 ga to'g'ri keladi, bunda yillik iste'mol o'rtacha 306.75 mln.m³ ni tashkil qiladi. Umumiy olganda, yil davomida issiqlik ishlab chiqarish o'rtacha 2,334 mln Gkal bo'lib, Yunusobod IM-4 qozonxonasida tabiiy gaz iste'moli

yildan-yilga ortib bormoqda. Issiqlik ishlab chiqarish uchun tabiiy gazning solishtirma sarfi oʻrtacha $131,43 \text{ m}^3/\text{Gkal}$. Ushbu qiymatlar hisob kitob koʻrsatkichlaridan ancha past. “Toshissiqquvvati” DUK qozonxonalaridagi qozonxonalar 30 yildan ortiq vaqtdan buyon ish faoliyatida boʻlib qozonlarning texnik holati taʼmirtalab holatga kelgan. Qozon qurilmalarining haqiqiy ishlash muddati texnik hujjatlarda nazarda tutilganidan koʻra koʻproq ish olib borgan. Ushbu uskuna jismoniy va maʼnaviy jihatdan eskirgan va zamonaviy lokal qozonlarga nisbatan samaradorlik jihatidan sezilarli darajada past.



2-rasm. “Toshkent issiqlik markazi” davlat unitar korxonasi issiqlik taʼminoti tashkilotlari tomonidan tabiiy gaz isteʼmoli koʻrsatkichlari dinamikasi

KVGM-100-150 qozonining yonish moslamasi Qozon RGMG-30 gazmazutli aylanadigan burner bilan jihozlangan. Aylanadigan forsunkalarning afzalliklari shovqinsiz ishlashi, tartibga solingan keng doirasi, chunki mexanik purkash uchun energiya sarfi, bug' yoki havo purkash bilan solishtirganda ancha past hamda, ularni ishlashining iqtisodiy samaradorligini oʻz ichiga oladi.

Garelkalarning asosiy komponentlari quyidagilardir: aylanadigan soplo, periferik turdagi gaz qismi, ikkilamchi havo kanali va asosiy havo kanali. Forsunkali rotor ichi boʻsh val boʻlib, uning ustiga gaykalari va purkagich chashka oʻrnatiladi. Rotor uzatmasi yordamida asenkron elektr motor tomonidan boshqariladi. Kuraklarning old qismida 30° burchak ostida oʻrnatilgan yoʻnaltiruvchi kuraklar bilan aksenel birlamchi havo yoʻnaltiruvchisi mavjud. Birlamchi havo ventilyatoridan birlamchi havo spiraliga maxsus yoʻnalish orqali beriladi. Ikkilamchi havo oʻtkazgich havo yoʻnalishidan, 40° burchak ostida oʻrnatilgan yoʻnaltiruvchi kurakchalar bilan yoʻnalish boʻyicha aylanadan va garelka ogʻzini tashkil etuvchi oldingi halqadan iborat. Periferik turdagi garelkaning gaz qismi bir xil diametrligaz chiqarish quvurlarining bir qatorli tizimi va ikkita gaz taʼminoti trubkasi boʻlgan gaz taqsimlovchi halqa kamerasidan iborat.

Issiqlik ishlab chiqarish quvvati $116,3 \text{ MVt}$ boʻlgan KVGM-100($116,3/150$) qozonlari II shaklidagi, yonish kamerasiga ($L=6208\text{mm}$) va ($L=3200\text{mm}$) konvektiv shaxtaga ega[8,9].

RGMG-30 garelkasining texnik tavsiflari

Nomlanishi	O'lchov birligi	Qiymatlari
Nominal issiqlik ishlab chiqarishi	MVt	30
Nazorat diapazoni	%	10-100
Aylanish holatidagi forsunka:		
Purkash qismini diametri	mm	
Purkashdagi aylanish chastotasi	ayl/min	5000
Mazutni forsunkadan oldingi qovushqoqligi	⁰ VU	8
Mazutni forsunkadan oldingi bosimi	kg*kuch/sm ²	2
Elektr dvigateli:		
Turi	-	АОЛ2-31-М101
Quvvati	kVt	3
Aylanish chastotasi	ayl/min	2880
Avtonom birlamchi havo ventilyatori (forsunkani):		
Turi	-	30 ИС-85
Ishlab chiqarishi	m ³ /soat	3000
Havo bosimi	mm.suv.ust	850
Elektr dvigatel turi	-	АО-2-52-2
Quvvati	kVt	13
Aylanish chastotasi	ayl/min	3000
Birlamchi havo bo'yicha garelkaning aerodinamik qarshiligi	kg*kuch/sm ²	900
Birlamchi havo harorati	⁰ C	10-15
Birlamchi havo liniyasi diametri	mm	320
Ikkilamchi havoni yo'naltiruvchi qurilmasi		
Qurilma turi	-	An'anaviy to'g'ridan-to'g'ri havo ta'minoti
Qurilmaning kengligi	mm	580
Yo'naltiruvchi kurakchalarning qarshiligi	kg*kuch/sm ²	250
Gaz qismi:		
Gaz taqsimlovchi qismning turi	-	Ikki tomonlama periferik ta'minlash
Gaz beruvchi ustunlar soni	dona	21
Gaz beruvchi ustunlar diametri	mm	18
Gaz qismining qarshiligi	kg*kuch/sm ²	3000-5000
Garelka old qismining diametri	mm	725
Qurilmaning o'lchamlari		
Ulanish qismining diametri	mm	1220
Uzunligi	mm	1446
Balandligi	mm	1823
Og'irligi	kg	869

Usul. Havo va yonish mahsulotlarini t haroratida yondirilganda issiqlik tarkibi havo yoki yonish mahsulotlari 1 m³ yoqilg'iga bog'liq bo'lgan havoni va yonish mahsulotlarini nazariy hajmi entalpiyasi yoki issiqlik miqdori quyidagi formulalar bilan hisoblanadi:

$$I_h^0 = V^0(ct)_h; \quad (1)$$

$$I_{RO_2}^0 = V_{RO_2}(cv)_{RO_2}; \quad (2)$$

$$I_{H_2O}^0 = V_{H_2O}(cv)_{H_2O}; \quad (3)$$

$$I_{N_2}^0 = V_{N_2}(cv)_{N_2}; \quad (4)$$

$$I_G^0 = I_{RO_2} + I_{H_2O}^0 + I_{N_2}^0; \quad (5)$$

bu yerda $(ct)_h$, $(cv)_{RO_2}$, $(cv)_{H_2O}$, $(cv)_{N_2}$ mos ravishda havo, uch atomli gazlar, suv bug'i va azotning kJ/m^3 dagi o'ziga xos entalpiyalari [10];

$\alpha > 1$ da yonish mahsulotlarining entalpiyalari quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$I_G = I_G^0 + (\alpha - 1)I_h^0; \quad (6)$$

bu erda α - mos keladigan yoqilg'i yoqishdagi ortiqcha havo koeffitsienti; $\alpha > 1$ dan havo entalpiyalarining olingan qiymatlariga to'g'ri keladi.

Ushbu holatda issiqlik markazi KVGM-100-150 qozon qurilmasidagi garelkalarini takomillashtirish va joylashish tuzilishini o'zgartirish hisobiga samaradorlikga erishilgan.

Adabiyot

1. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Iqlim o'zgarishi bo'yicha konvensiyasining (BMT) 2/CP.17 qaroriga muvofiq ishlab chiqilgan.

2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 20-apreldagi qarori PQ-2912-son "2018-2022-yillarda issiqlik ta'minoti tizimini rivojlantirish dasturi to'g'risida".

3. Yillik hisobot O'zbekiston Respublikasi Uy-joy kommunal xizmat ko'rsatish vazirligi.

4. <http://kommunal.uz>.

5. Normuminov J.A., Zaxidov R.A., Xurramov B.S., Mamatova S.K. Перспективы энергосбережения и водоподготовки при установке конденсационных теплоутилизаторов на теплоэлектроцентралях // Сборник трудов международной конференции. «Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы». – 2021. -С. 39-44.

6. Jakhongir Normuminov, Anvar Anarbaev, Bobir Xurramov. Modeling of thermal processes during the motion of combustion products in the gas chimneys of boilers // Rudenko-2021. – № 4. – С. 41-49.

7. Kudinov, A.A. Energy saving in heat power engineering and heat technologies / A.A. Kudinov, S.K. Ziganshina. - M.: Mashinostroenie, 2011. -- 374 p.

8. Normuminov, J., Anarbaev A. Utilizers of the condensing heat in the boiler's unit at heat power station of Uzbekistan. E3S Web of Conferences 216, 01123 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601123>.

9. Khurramov B.S. Improving the environmental efficiency of gaseous fuel combustion in hot water gas-fired boilers // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology-2021 Volume 9, Issue 6, C. 4026-4028.

10. Khurramov B.S. Investigation of utilization technologies in existing heating units // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Volume 8, Issue 12, December-2021.

*O'zRes FA "Energetika muammolari"
institute tomonidan taqdim etilgan*

УДК 536.24

**ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА
ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА****Х.С. Исаходжаев, Ф.Ш. Умарджанова, Л.О. Алимова**

Ушбу мақолада ҳавони мўътадиллаш тизимларида қўлланиладиган турли хилдаги буғлатиб совитиши усуллари кўриб чиқилган. Кўриб чиқилган усулларни қийёсий таҳлили, усулларнинг ҳар бирини қўлланилиши чегаралари ҳамда уларнинг техник иқтисодий кўрсаткичларининг таҳлили келтирилган. Ҳавони мўътадиллаш тизимларида буғлатиб совитиши усуллари қўллаш долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Ҳавони буғлатиб совитиши услуби атмосфера ҳавосининг термодинамик мувозанатсизлигига, яъни психрометрнинг қуруқ ва ҳўл термометрларни ҳароратлари фарқига асосланган. Сувни буғлатиб совитишининг бир қанча услубларини таҳлил қилиши натижасида аниқландики, манбани икки босқичли буғлатиб совитиши ва регенератив билвосита буғлатиб совитиши ёрдамида етарли даражада паст ҳароратли ҳаво оқими билан таъминлаш мумкин. Таҳлиллар натижаси шуни кўрсатадики, совитиши тизимида буғланма совитгичлар анъанавий совитгичлар билан қийёслаганда анча кам энергия истеъмол қилади. Икки босқичли буғланма совитгичи Ўзбекистоннинг иссиқ ва қуруқ иқлим ҳудудлари учун экологик тоза ва энергия тежамкор совитиши тизими сифатида ёзги қўлайлик (шинамлилик) шароитларини таъминлаши мумкин. Бевосита ва билвосита буғлатиб совитгич тизимлари қўлайлик талабларини таъминлаб бера олмаган жойда икки босқичли буғлатиб совитгич қўлайлик шароитларини таъминлаб бера олади. Шу билан бирга, икки босқичли буғлатиб совитиши манбага кирувчи ҳаво оқимини пастроқ ҳароратгача тушириши имконини беради. Агар манбага кирувчи ҳаво оқимини қўшимча намлаш мумкин бўлмаса регенератив совитиши усулидан фойдаланиш тавсия этилади. Сувни буғлатиб совитишининг келтирилган ушбу усуллари қуруқ ва мўътадил иқлим шароити учун кирувчи ҳаво оқимининг мақбул ҳароратини олиши имконини беради.

В статье рассмотрены различные методы испарительного охлаждения, используемые в системах кондиционирования воздуха. Приведены сравнительный анализ рассмотренных методов, пределы применения каждого метода и анализ технико-экономических показателей методов. Использование методов испарительного охлаждения в системах кондиционирования воздуха – является одним из самых актуальных проблем. Используется принцип испарительного охлаждения, основанный на термодинамическом дисбалансе атмосферного воздуха, то есть разнице между температурами сухого и влажного психрометрического термометра. Анализ нескольких методов водяного испарительного охлаждения показал, что, используя двухступенчатое испарительное охлаждение и регенеративное непрямо испарительное охлаждение, можно обеспечить источник потоком воздуха с достаточно низкой температурой. Результаты анализа показывают, что испарительные холодильники в системе охлаждения потребляют гораздо меньше энергии по сравнению с обычными хо-

лодильниками. Двухступенчатый испарительный холодильник может обеспечить летний комфорт используя экологически чистую и энергоэффективную систему охлаждения для жаркого и сухого климата Узбекистана. Там, где системы прямого и косвенного испарительного охлаждения не могут удовлетворить требования комфорта, в этих местах двухступенчатый испарительный хладагент может обеспечить комфортные условия. В то же время двухступенчатое испарительное охлаждение позволяет снизить поток воздуха, поступающего в источник, до более низкой температуры. Если дополнительное увлажнение воздушного потока, поступающего в источник, невозможно, тогда рекомендуется использовать метод регенеративного охлаждения. Эти методы испарительного охлаждения воды позволяют получить оптимальную температуру входящего воздушного потока для сухого и умеренного климата.

The article discusses the various evaporative cooling methods used in air conditioning systems. The comparative analysis of the considered methods, the limits of application of each method and the analysis of the technical and economic indicators of the methods are given. The use of evaporative cooling methods in air conditioning systems is one of the most pressing problems. The principle of evaporative cooling is based on the thermodynamic imbalance of atmospheric air, that is, the difference between the temperatures of a dry and a wet psychrometric thermometer. Analysis of several evaporative water-cooling methods has shown that by using two-stage evaporative cooling and regenerative indirect evaporative cooling, it is possible to provide an air source with a sufficiently low temperature. The analysis results show that evaporative coolers in a refrigeration system consume much less energy than conventional refrigerators. The two-stage evaporative cooler can provide summer comfort (comfort) as an environmentally friendly and energy efficient cooling system for the hot and dry climate of Uzbekistan. Where direct and indirect evaporative cooling systems cannot meet comfort requirements, in these locations, a two-stage evaporative refrigerant can provide a comfortable environment. At the same time, two-stage evaporative cooling can reduce the flow of air entering the source to a lower temperature. If additional humidification of the air flow entering the source is not possible, then it is recommended to use the regenerative cooling method. These evaporative water-cooling methods provide the optimum inlet air temperature for dry and temperate climates.

Введение. Параметры воздуха в рабочей зоне оказывают существенное воздействие на производственный процесс. Несоответствие характеристик окружающей среды затрудняет выполнение работы, и отрицательно воздействует на организм человека, вызывая утомление, а при длительном воздействии, и серьезные заболевания. Труд в этих условиях менее производительен и более низкого качества.

Большую часть времени в году параметры воздуха весьма далеки от комфортных, а, следовательно, привлечение средств нормализации микроклимата является необходимым. В холодное время для нормализации параметров применяют различные отопительные и вентиляционные системы. В жаркое время года возникает необходимость в искусственном понижении температуры. С этой целью применяются кондиционеры, работающие на различных принципах произ-

водства холода (термоэлектрические, компрессионные, воздушные, испарительные и др.). Из общего ряда охладительных установок выделяются воздухоохлаждители водоиспарительного типа, как обладающие рядом достоинств и существенных преимуществ: они просты по конструкции и в эксплуатации, дешевы, экологически безвредны, имеют низкую потребляемую мощность и характеризуются высоким коэффициентом использования энергии [1,2,3].

Однако в настоящее время потенциал испарительного охлаждения использован недостаточно полно. Работающие кондиционеры, как правило, базируются на прямом испарении воды в поток воздуха, направляемый в охлаждаемый объем, что приводит к переувлажнению воздуха. Принцип испарительного охлаждения, дающий самый низкий предел температур на выходе из кондиционера – регенеративный, – в промышленном производстве практически не используется. В связи с этим, проблема повышения эффективности работы водоиспарительных кондиционеров является чрезвычайно актуальной.

Двухступенчатое испарительное охлаждение воздуха. В Узбекистане была разработана система кондиционирования воздуха с бескомпрессорным охлаждением воздуха [2÷7], в которой применено двухступенчатое водоиспарительное охлаждение (ВИО) воздуха. При этом в качестве первой ступени было применено косвенно-испарительное охлаждение (КИО), в качестве второй – прямое испарительное охлаждение воздуха.

Наружный воздух очищается в фильтре, засасывается вентилятором и подается в сухие каналы косвенно-испарительного теплообменника (КИТО), где охлаждается при постоянном влагосодержании. В качестве вспомогательного потока используется наружный воздух, который направляется противотоком основному потоку. Прямой поток на выходе из теплообменника в пределе может достигнуть температуры мокрого термометра наружного воздуха. Далее охлажденный наружный воздух направляется в камеру орошения, где происходит его прямое испарительное охлаждение. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

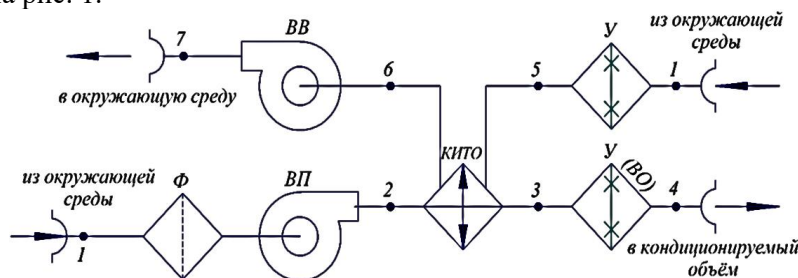


Рис. 1. Принципиальная схема установки кондиционирования воздуха (УКВ) с двухступенчатым ВИО: ВП – вентилятор приточный, ВВ – вентилятор вытяжной, У – увлажнитель, Ф – фильтр; (ВО) – хладоновый ВО (для УКВ с комбинированным косвенно-испарительным и парокомпрессионным охлаждением)

Сравнительный анализ методов ВИО. В таблице ниже приведены результаты расчетов приточных УКВ в различных климатических зонах, характерных для Узбекистан: сухой и жаркий климат (Термез, $t_{o.c.} = 31,3$ °C; $\varphi_{o.c.} = 33$ %); умеренный климат (Ташкент, $t_{o.c.} = 26,3$ °C; $\varphi_{o.c.} = 56$ %); влажный климат (Фергана, $t_{o.c.} = 27,8$ °C; $\varphi_{o.c.} = 68$ %).

Таблица

Параметры	Водоиспарительное охлаждение				Тип климата
	пря- мое	косвен- ное	двухсту- пенчатое	регене- ративное	
Минимальная температура приточного воздуха, °C	19,4	21,4	16,2	16,4	Сухой
	19,9	21,9	18,5	20,2	Умеренный
	23,1	25,1	22,4	24	Влажный
Перепад температур, °C	11,9	9,9	15,1	14,9	Сухой
	6,4	4,4	7,8	6,1	Умеренный
	4,7	2,7	5,4	3,8	Влажный
Холодопроизводительность, кВт	0	10,13	10,13	15,2	Сухой
	0	4,52	4,52	6,25	Умеренный
	0	2,05	2,05	4	Влажный
Расход воды, л/ч	17,36	17,36	24,96	23,9	Сухой
	9,36	9,36	14,04	11,16	Умеренный
	6,84	6,84	10,8	7,7	Влажный

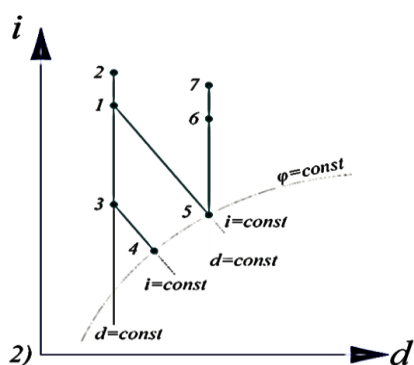


Рис. 2. Психрометрическая диаграмма влажного воздуха в УКВ с двухступенчатым ВИО: 1 – наружный воздух; 1–2 – нагрев в вентиляторе прямого потока; 1–5 и 3–4 – адиабатное увлажнение вспомогательного и прямого потоков соответственно; 2–3 – охлаждение прямого потока в КИТО; 5–6 и 6–7 – нагрев воздуха вспомогательного потока в каналах КИТО и вентиляторе, соответственно

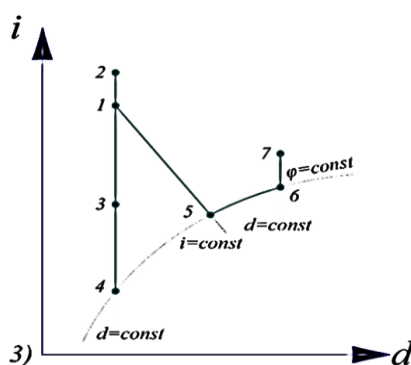


Рис. 3. Психрометрическая диаграмма воздуха в УКВ с комбинированным КИО и парокомпрессионной ступенью (обозначения см. рис. 2; участок 3–4 – охлаждение прямого потока в хладоновом ВО)

При расчете УКВ приняты следующие данные: расход прямого потока $1 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ($1,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ для схемы с регенеративным КИО); расход обратного потока $1 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ (0,5); разность температур на холодном конце теплообменника $2 \text{ } ^\circ\text{C}$; параметры воздуха на входе в установку – параметры “Б” по СНиП 23-01-99*; нагрев воздуха от вентилятора не учитывается; мощность, потребляемая каждым вентилято-

ром, составляет 0,7 кВт; унос влаги в увлажнителях отсутствует, увлажнение до 100 % – ной относительной влажности.

В результате анализа различных способов ВИО выявили, что обеспечить достаточно низкую температуру приточного воздуха можно, используя двухступенчатое ВИО и регенеративное КИО. При этом двухступенчатое ВИО позволяет достичь более низкой температуры приточного воздуха. Однако при недопустимости дополнительного увлажнения приточного воздуха целесообразно использовать регенеративное охлаждение. Указанные способы ВИО позволяют получить приемлемые температуры приточного воздуха в сухом и умеренном климате.

Комбинированная УКВ с ВИО и парокompрессионной ступенью. В настоящее время принцип ВИО не получил широкого распространения в СКВ. Несмотря на высокую эффективность (в сухом климате холодильный коэффициент достигает значения 10–15), ВИО не может обеспечить комфортные параметры микроклимата во всех климатических зонах. В качестве автономных кондиционеров применяются в основном парокompрессионные холодильные машины (ПКХМ) с воздухоохладителями непосредственного испарения (сплит-системы) или связка водо-охлаждающая машина–вентиляторный доводчик (“чиллер”–“фанкойл”). Источником холода для воздухоохладителей (ВО) центральных кондиционерах также служит охлажденный хладоноситель от чиллера. Холодильный коэффициент связки чиллер–фанкойл составляет порядка 2–3.

В последнее время поступают предложения применить испарительное охлаждение воздуха в комбинации с традиционной ПКХМ [8÷11]. Такая комбинация позволяет с одной стороны снизить нагрузку на холодильную машину (тем самым увеличить коэффициент эффективности системы), с другой стороны, позволит получить комфортные параметры микроклимата во всех климатических зонах.

При проектировании комбинированной водоиспарительной-хладоной УКВ в качестве первой (водоиспарительной) ступени целесообразно применить КИО и регенеративное ВИО. Использование двухступенчатого ВИО нецелесообразно, поскольку ступень с прямым испарительным охлаждением не снижает энтальпии потока и, следовательно, не снижает нагрузку на хладоновую часть установки. При использовании УКВ в сухом и умеренном климате наибольшего снижения нагрузки на ПКХМ можно достичь, используя в качестве первой ступени регенеративное КИО. Во влажном климате целесообразно применять блок КИО, используя в качестве вспомогательного вытяжной поток из помещения, имеющий более низкую энтальпию, чем наружный воздух. В этом случае в ступени ВИО можно получить большую холодопроизводительность, чем при использовании регенеративного КИО. Известны схемы, в которых вспомогательный поток, выходящий из КИТО [2, 4], направляется в конденсатор ПКХМ, что позволяет снизить температуру конденсации и, соответственно, затраты на электроэнергию.

В предлагаемом варианте КИТО используется для предварительного охлаждения воздуха, поступающего во парокompрессионной ступени (рис. 1).

Охлажденный очищенный в фильтре наружный воздух направляется в поверхностный хладоновый ВО, где охлаждается до требуемой температуры притока. Следует отметить, что в качестве вспомогательного потока может исполь-

зваться как наружный, так и вытяжной воздух из помещения, энтальпия которого может быть ниже энтальпии наружного воздуха, что позволит увеличить часть холодопроизводительности установки, вырабатываемой ступенью ВИО.

Достоинства рассматриваемой схемы, следующие: снижение нагрузки на холодильную машину и уменьшение типоразмеров компрессора (по сравнению с ПКХМ); расширение климатических границ применимости (по сравнению с ВИО). Предлагаемая схема имеет следующие недостатки: усложнение конструкции по сравнению с ПКХМ и большее энергопотребление по сравнению с ВИО.

Сравнение энергоэффективности приточно-вытяжных установок. Современная концепция энергосбережения при жилищном строительстве предусматривает рекуперацию теплоты вытяжного воздуха. Этот способ действительно помогает снизить расходы на вентиляцию в холодный период, однако практически бесполезен в теплое время, когда требуется кондиционирование воздуха.

Использование ВИО позволяет снизить затраты на кондиционирование воздуха как в теплый, так и в холодный периоды времени года. Проведем сравнение комбинированной водоиспарительной установки (см. рис. 1) и классической приточно-вытяжной установки с рекуператором (рис. 4).

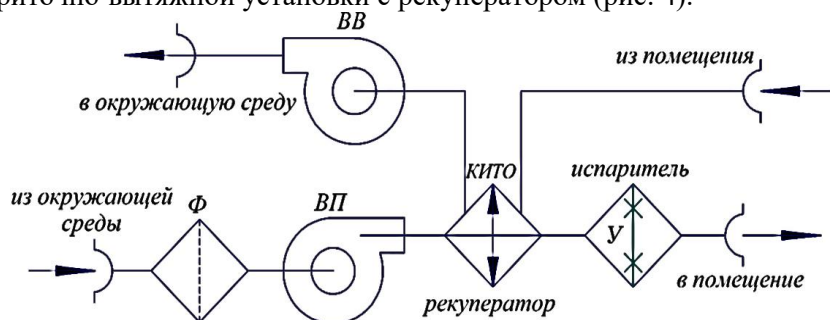


Рис. 4. Принципиальная схема приточно-вытяжной УКВ с рекуператором

Предлагаемая схема (см. рис. 1) имеет три основных отличия от классической приточно-вытяжной установки:

- 1) наличие увлажнителя на тракте обратного потока;
- 2) использование КИТО вместо обычного рекуператора;
- 3) обдув конденсатора холодильной машины обратным потоком.

Расчет был выполнен при следующих условиях:

Расход прямого и обратного потоков 1 кг/с, каждый; температурная эффективность рекуператора и КИТО 0,75; параметры воздуха на входе в установку – параметры “Б” по СНиП 23-01-99*; температура приточного воздуха 14 °С; температура воздуха и относительная влажность в помещении 25 °С и 55 %, соответственно; температура кипения 7 °С; температура конденсации и мощность вентиляторов, кВт, хладагент – R407C.

Как следует из приведенных диаграмм, использование КИТО вместо рекуператора во всех климатических зонах позволяет увеличить в 1,5-2 раза коэффициент эффективности системы; в условиях сухого и умеренного климата позволяет значительно снизить мощность, потребляемую компрессором, количе-

ство хладагента, заправляемого в систему. Снизить установленную мощность установки в целом, а следовательно, и затраты на подключение к городским электросетям.

Результаты сравнения установок приведены на рис. 5 и 6.

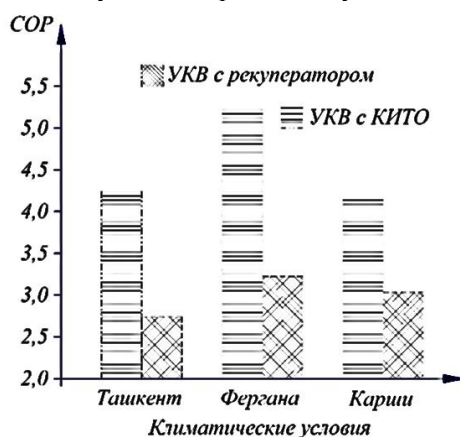


Рис. 5. Коэффициенты эффективности сравниваемых установок в различных климатических зонах (параметры подаваемого воздуха и воздуха в помещении постоянны)

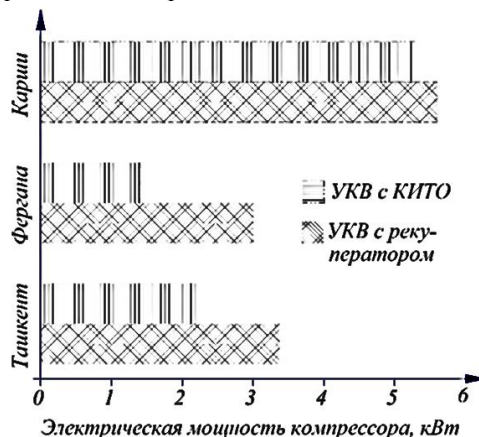


Рис. 6. Электрическая мощность, потребляемая компрессорами сравниваемых установок, в различных климатических зонах (параметры подаваемого воздуха и воздуха в помещении постоянны)

В настоящее время для определения эффективности применения комбинированных циклов на базе лаборатории кафедры «Термодинамика и теплотехника» разрабатывается лабораторный стенд, использующий комбинированный водоиспарительно-парокомпрессионный цикл, для исследования работы подобных установок при различных параметрах воздуха окружающей среды. Разрабатываемый стенд будет использоваться в учебном процессе.

Литература

1. Steimle F. Development in Air-Conditioning, International Conference of Research, Design and Conditioning Equipment in Eastern European Countries. September 10–13. Bucharest, Romania. IIF/IIR.
2. Foster R.E., Dijkstra E. Evaporative air-conditioning fundamentals: environmental and economic benefits world wide / International Conference of Applications for Natural Refrigerants' 96. September 3–6. Aarhus, Denmark. IIF/IIR. 1996.
3. Stoitchkov N.J., Dimirov G.J. Effectiveness of crossflow plate heat exchanger for indirect evaporative cooling / Int. J. Refrig., vol. 21, no. 6. 1998.
4. Дорошенко А., Ярмолович Ю. Косвенно-испарительные охладители // Холодильная техника. 1987. № 12. – С. 129-142.
5. Лавренченко Г., Дорошенко А. Разработка косвенно-испарительных воздухоохладителей для систем кондиционирования // Холодильная техника. 1988. № 10. – С. 22-29.
6. Watt J.R. Evaporative Air Conditioning Handbook. 1986.

7. Koltun P., Ramakrishnan S., Doroshenko A., Konsov M. Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems / 21h International Congress of Refrigeration IIR/IIF. Washington, D. C, ICR0140. 2003.
8. Maisotsenko V., Lelland G. The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling / 21h International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D. C. 2003.
9. John L. McNab, Paul McGregor. Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger / 21h International Congress of Refrigeration IIR/IIF. Washington, D.C., ICR0646.
10. Гаранов С.А., Жаров А.А., Пантеев Д.А., Соколик А.Н. Водоиспарительное и комбинированное охлаждение воздуха // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 1(13). – С. 84–90.
11. Захидов Р.А., Усмонов Н.О. Обзор испарительного охладителя в системах кондиционирования воздуха // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент. – 2020. – №3-4. – С. 133–137.
12. Родимкин Е.Д., Монокрович Э.И. Теплоснабжение и хладофикация городов Средней Азии. – Т.: Изд-во Академии Наук УзР., – 1962. – 173 с.
13. Чесноков А.С., Шацкий В.П. Совместное моделирование тепло- и массопереносных и аэродинамических процессов в водоиспарительных охладителях // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2010. – № 3(19). – С. 40–46.
14. Высоцкая Ж.В., Шацкий В.П., Федулова Л.И. / О выборе параметров двухступенчатого водоиспарительного охладителя воздуха // Известия ВУЗов. Строительство. – 2001. – № 6. – С. 60–63.
15. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. Основы расчета и проектирования. – М.: Машиностроение, 1978. – 264 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.184

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ РЕГЕНЕРАТИВНОГО
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Ш.С. Мавжудова, А.Г. Хазратов, Ж.Ю. Усмонов

Мақолада регенератив айланадиган ҳаво қиздиргичнинг (РХҚ) ҳарорат майдонларини ҳисоблаш кўриб чиқилган. РХҚнинг ҳархил айланиш тезлигида ҳарорат майдонларининг ҳисоблаш усули берилган. РХҚда иссиқлик алмашуви ҳисобига кўра, ҳаво ва чиқинди газларининг ўртача ҳарорати аниқланди, ўрашининг пўлат пластинкаларида ҳароратларнинг тақсимланиши, шунингдек, айнан, РХҚ ротор тезлиги ўзгаришидаги ҳаво қиздиргич орқали ўтадиган ҳаво ва газларнинг ҳарорат майдони топилган. Пластинканинг кириш ва чиқиш қирраларининг маълум бўлган ҳароратларида ҳавони кириш ва чиқиш жойида $t_{\text{МВВ1}}$ ва $t_{\text{МВН1}}$ ҳаво зонасининг исталган қисмида РХҚдан чиқишидаги ҳаво ҳарорати аниқланди. Ҳисоблаш натижасида $t_{\text{ВСР}}$ ҳаво зонасининг чиқиш жойидаги ўртача ҳаво ҳарорати, уларнинг ҳаво зонаси $t_{\text{ВСР}}$ чиқишидаги пластинканинг орқа четининг ҳарорати ва пластинкадан ҳавога ўтказиладиган $Q_{\text{ВС}}$ иссиқлик миқдори ҳаво зонасида пластинка айланиш вақти учун аниқланди. Ягона пластинканинг олдинги четини совутиш учун ҳаво зонаси ёйи бўйлаб ҳаракатланиш йўлида доимий ҳароратли ҳаво билан пуркалганда, РХҚ нинг кириш қисмидан ҳаво зонасининг чиқиш қисмига пластинкада ҳароратларининг ўзгариш графиги чизилган.

В статье рассмотрен расчет температурных полей регенеративного вращающегося воздухоподогревателя. Приводится методика расчета температурных полей при различных скоростях вращения РВВ. По расчетам теплообмена в РВВ найдены средние по сечению температуры воздуха и уходящих газов, распределение температур в стальных листах набивки, а также температурное поле воздуха и газов, проходящих через воздухоподогреватель, в том числе при изменении частоты вращения ротора РВВ. Определена температура воздуха на выходе из РВП в любом сечении воздушной зоны при известных температурах входной и выходной кромок пластины $t_{\text{МВВ1}}$ и $t_{\text{МВН1}}$ на входе и выходе воздуха. В результате расчета определена средняя температура воздуха на выходе из воздушной зоны $t_{\text{ВСР}}$, температура выходной кромки пластины на выходе из воздушной зоны $t_{\text{МВВ2}}$ и количество теплоты $Q_{\text{ВС}}$, переданное от пластины к воздуху за все время перемещения пластины в воздушной зоне. Для случая охлаждения входной кромки одиночной пластины при обдуве её воздухом с постоянной температурой $t_{\text{в}}$ на пути движения её по дуге окружности воздушной зоны построен график изменения температуры пластин на входе РВВ от входного сечения до выходного сечения воздушной зоны.

The article considers the calculation of temperature fields of a regenerative rotating air heater. A method for calculating these temperature fields at various speeds of rotation of the RRA is given. According to the calculations of heat transfer in the

RRA, the cross-sectional average temperatures of air and flue gases, the temperature distribution in the steel sheets of the packing, as well as the temperature field of air and gases passing through the air heater, especially when the RRA rotor speed changes, were found. The air temperature at the outlet of the RRA in any section of the air zone is determined at known temperatures of the input and output edges of the plate t_{mvv1} and t_{mvv2} at the air inlet and outlet. As a result of the calculation, the average air temperature at the outlet of the air zone t_{vst} , the temperature of the trailing edge of the plate at the exit of their air zone t_{mvv2} and the amount of heat Q_{st} transferred from the plate to the air for the entire time of movement of the plate in the air zone were determined. For the case of cooling the leading edge of a single plate when it is blown with air with a constant temperature t_v on the way of its movement along the arc of the air zone, a graph of the change in the temperature of the plates at the inlet of the RRA from the inlet section to the outlet section of the air zone is plotted.

При тепловом расчете регенеративного вращающегося воздухоподогревателя (РВВ) энергетического котла теплообмен между газами и воздухом определяется по известному уравнению теплообмена для рекуперативных теплообменников:

$$Q = F \cdot k \cdot \Delta t ;$$

где Q – количество теплоты, передаваемое от газов к воздуху $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{с}}\right)$, F – расчетная теплообменная поверхность (м^2), k – средний коэффициент теплопередачи, отнесенный ко всей расчетной поверхности $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right)$, Δt – усредненный температурный напор ($^{\circ}\text{C}$).

При определении среднего коэффициента теплопередачи в соответствии с нормативным методом расчета котельных агрегатов [1÷5] учитываются коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке α_1 , от стенки к воздуху α_2 , отношения поверхностей нагрева, омываемых газами или воздухом, к полной поверхности воздухоподогревателя (x_1, x_2), коэффициент использования поверхности нагрева ξ , коэффициент, учитывающий влияние нестационарного теплообмена и зависящий от скорости вращения ротора.

Расчет теплообмена в РВВ по [1, 2] дает возможность найти средние по сечению температуры воздуха и уходящих газов, но не позволяет определить распределение температур в стальных листах набивки, а также температурное поле воздуха и газов, проходящих через воздухоподогреватель, тем более при изменении частоты вращения РВВ.

Определенный интерес представляет влияние скорости вращения воздухоподогревателя на эффективность его работы, нагрев воздуха и охлаждение газов. При расчете среднего коэффициента теплопередачи в РВВ влияние скорости вращения учитывается с помощью коэффициента π в формуле;

$$k = \frac{\xi \cdot \pi}{\frac{1}{x_1 \cdot \alpha_1} + \frac{1}{x_2 \cdot \alpha_2}} ;$$

где ξ – коэффициент использования поверхности нагрева регенеративных воздухоподогревателей, принимается для всех топлив равным 0,8÷0,9; π – коэффи-

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

коэффициент, учитывающий нестационарность теплообмена, для РВВ с толщиной листов $\delta = 0,6 \div 1,2$ мм в зависимости от скорости вращения ротора составляет:

n, (об/мин)	0,5	1,0	$\geq 1,5$
π	0,85	0,97	1,0

Расчет коэффициента π приводится в [6÷10] для различных условий работы РВВ по средним величинам температур набивки, воздуха и газов. Для более подробного анализа теплообмена в переменных режимах необходимо найти распределение локальных температур набивки, газов и воздуха во входном и выходном сечениях. Ниже приводится методика расчета этих температурных полей при различных скоростях вращения РВВ.

Из общего количества пластин набивки выделяется одна, с двух сторон которой попеременно движется то воздушный, то газовый потоки. Эта единичная пластина условно имеет вполне определенные геометрические размеры, например, ширина – 1 м, длина равна высоте набивки РВВ, толщина – 0,00063 м. Расходы воздуха или газов, приходящиеся на эту единичную пластину и вступающих в теплообмен с ней, определяются по величине площади поперечного зазора между пластинами и средней скорости движения теплоносителя. При вхождении единичной пластины в воздушную зону она обтекается потоком воздуха с заданной постоянной температурой на входе. Если считать, что исходное температурное поле пластины известно (температура по ширине пластины в каждом сечении постоянна, а по длине переменна), то можно рассчитать изменение температуры пластины во входном и выходном сечениях РВВ при движении ее по окружности с переменной скоростью.

Для этого используются следующие зависимости:

1) уравнение теплообмена между единичной пластиной и воздушным потоком

$$Q_T = F \cdot \alpha_{кв} \cdot dt; \quad (1)$$

где F – поверхность теплообмена, равная площади пластины с двух сторон (м^2), $\alpha_{кв}$ – коэффициент теплоотдачи от пластины к воздуху ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$), dt – температурный напор ($^{\circ}\text{C}$), определяемый по выражению

$$dt = \frac{(t_{мвн} - t_{в}) - (t_{мвв} - t_{вв})}{\ln \frac{t_{мвн} - t_{вв}}{t_{мвв} - t_{в}}}.$$

Здесь $t_{мвн}$ – температура пластины на входе воздуха ($^{\circ}\text{C}$), $t_{мвв}$ – температура пластины на выходе воздуха ($^{\circ}\text{C}$), $t_{в}$ – температура воздуха на входе в РВВ ($^{\circ}\text{C}$), $t_{вв}$ – температура воздуха на выходе из РВВ ($^{\circ}\text{C}$), Q_T – количество теплоты, передаваемое от пластины к воздуху конвективным способом за 1 с;

2) уравнение нагрева воздуха

$$Q_B = G_B \cdot c_{рв} \cdot (t_{вв} - t_{в}); \quad (2)$$

где Q_B – количество теплоты для нагрева секундного расхода воздуха G_B через зазор между пластинами от температуры $t_{в}$ до $t_{вв}$; $c_{рв}$ – средняя теплоемкость воздуха ($\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$).

Средняя величина воздушного зазора $\delta_{в}$ между пластинами определяется по известной конструктивной характеристике РВВ – плотности набивки ρ_n , которая представляет собой двухстороннюю поверхность нагрева пластин в 1 м^3

объёма ротора (нормативная величина плотности неинтенсифицированной набивки ротора РВВ-54 составляет $440 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2}$):

$$\delta_{\text{в}} = \frac{2 - \rho_{\text{н}} \cdot \delta}{\rho_{\text{н}}};$$

где $\rho_{\text{н}}$ – плотность набивки ($\frac{\text{м}^2}{\text{м}^2}$), δ – толщина листов набивки, м.

Секундный расход воздуха $G_{\text{в}}$ ($\frac{\text{кг}}{\text{с}}$), приходящийся на единичную пластину шириной 1 м, определяется по выражению:

$$G_{\text{в}} = \rho_{\text{во}} \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{вср}}} \cdot \delta_{\text{в}} \cdot w_{\text{в}};$$

где $\rho_{\text{во}}$ – плотность воздуха при нормальных условиях ($\rho_{\text{во}} = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), $t_{\text{вср}}$ – средняя температура воздуха в РВВ ($^{\circ}\text{C}$), $w_{\text{в}}$ – средняя скорость воздуха в зазорах набивки ($\frac{\text{м}}{\text{с}}$);

3) уравнение охлаждения пластины:

$$Q_{\text{м}} = m \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{мвс1}} - t_{\text{мвс2}}); \quad (3)$$

где $Q_{\text{м}}$ – количество теплоты, отдаваемое единичной пластиной при уменьшении ее средней температуры от $t_{\text{мвс1}}$ до $t_{\text{мвс2}}$ (Дж), $c_{\text{м}}$ – теплоемкость материала пластины ($\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$), m – масса единичной пластины (кг):

$$m = \rho \cdot h \cdot b \cdot \delta.$$

Здесь ρ – плотность материала пластины ($\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), h – высота пакета набивки РВВ (м), b – ширина единичной пластины (м), δ – толщина пластины (м).

Количества теплоты, найденные по уравнениям (1) – (3), равны. Решая совместно эти три уравнения, можно найти температуру воздуха на выходе из РВВ $t_{\text{вв}}$ и среднюю температуру пластины после охлаждения $t_{\text{мвс2}}$, если будут известны температура воздуха на входе $t_{\text{в}}$ и средняя начальная температура пластины $t_{\text{мвс1}}$ (начальные температуры пластины сверху $t_{\text{мвв1}}$ и внизу $t_{\text{мвн1}}$).

С помощью уравнений (1) и (2) можно определить температуру воздуха на выходе из РВП в любом сечении воздушной зоны при известных температурах входной и выходной кромок пластины $t_{\text{мвв1}}$ и $t_{\text{мвн1}}$ на входе и выходе воздуха.

Совместное решение уравнений (1) и (2) возможно методом последовательных приближений. Задавая различные значения неизвестной температуры воздуха на выходе $t_{\text{вв}}$, необходимо добиться равенства $Q_{\text{т}}$ и $Q_{\text{в}}$. Температура воздуха $t_{\text{вв}}$, удовлетворяющая этому условию, и будет температурой воздуха на выходе из РВВ в заданном сечении воздушной зоны. Для использования этого способа определения температуры воздуха на выходе из РВВ необходимо знать распределение температуры пластин $t_{\text{мвн}}$ на входе РВВ по дуге окружности их движения в воздушной зоне и распределение температуры пластин $t_{\text{мвв}}$ на выходе из РВВ.

Используя уравнения (1) и (2) для случая охлаждения входной кромки одиночной пластины при обдуве её воздухом с постоянной температурой $t_{\text{в}}$ на пути движения её по дуге окружности воздушной зоны можно построить график изменения температуры пластин на входе РВВ от входного сечения 1 до выходного сечения 2 воздушной зоны.

Количество теплоты, передаваемой путем конвекции от входной кромки единичной пластины, высотой dh , при коэффициенте теплоотдачи с воздушной стороны $\alpha_{кв}$, к воздушному потоку постоянной температуры $t_{в}$ за время $\Delta\tau_{в}$ (с) :

$$dQ_{Т} = 2 \cdot dh \cdot \alpha_{кв} \cdot (t_{мсп} - t_{в}) \cdot \Delta\tau_{в}.$$

За этот же период времени теплота охлаждения входной кромки пластины составит

$$dQ_{М} = dm \cdot c_{М} \cdot \Delta t_{М} = \delta \cdot dh \cdot \rho \cdot c_{М} \cdot \Delta t_{М},$$

здесь $\Delta t_{М} = t_{мвн1} - t_{мвн2}$ – снижение температуры входной кромки от $t_{мвн1}$ при входе пластины в воздушную зону до $t_{мвн2}$ через период времени $\Delta\tau_{в}$.

Приравнивая $dQ_{Т}$ и $dQ_{М}$, получим:

$$2 \cdot \alpha_{кв} \cdot (t_{мсп} - t_{в}) \cdot \Delta\tau_{в} = \delta \cdot \rho \cdot c_{Т} \cdot \Delta t_{М}.$$

Средний температурный напор между входной кромкой пластины и воздухом:

$$\Delta t = t_{мсп} - t_{в} = \frac{\delta \cdot \rho \cdot c_{М} \cdot \Delta t_{М}}{2 \alpha_{кв} \cdot \Delta\tau_{в}} = \frac{(t_{мвн1} - t_{в}) - (t_{мвн2} - t_{в})}{\ln \frac{t_{мвн1} - t_{в}}{t_{мвн2} - t_{в}}}.$$

Температура входной кромки единичной пластины через $\Delta\tau_{в}$ секунд охлаждения составит:

$$t_{мвн2} = t_{в} + \frac{t_{мвн1} - t_{в}}{\exp\left(\frac{2\alpha_{кв} \cdot \Delta\tau_{в}}{\delta \cdot \rho \cdot c_{М}}\right)}. \quad (4)$$

Изменяя время нахождения входной кромки пластины в воздушном потоке от 0 до $\Delta\tau_{в}$, можно получить по (4) график изменения температуры входной кромки пластины на всей дуге движения пластины от входного до выходного сечения воздушной зоны.

Применяя формулы (1) – (3), для теплообмена единичной пластины с воздушным потоком от входного до выходного сечений за время $\Delta\tau_{в}$, можно определить среднюю температуру воздуха $t_{всп}$ на выходе РВВ, среднюю температуру выходной кромки пластины $t_{мввс}$ вверху РВВ, оценить локальные температуры воздушного потока $t_{в2}$ и выходной кромки пластины $t_{мвв2}$ для выходного сечения воздушной зоны:

$$Q_{Т} = F \cdot \alpha_{кв} \cdot \Delta\tau_{в} \cdot \frac{(t_{мввс} - t_{в}) - (t_{мввс} - t_{всп})}{\ln \frac{t_{мввс} - t_{в}}{t_{мввс} - t_{всп}}}, \quad (5)$$

$$Q_{ВВ} = G_{В} \cdot c_{рв} \cdot \Delta\tau_{в} \cdot (t_{всп} - t_{в}); \quad (6)$$

$$Q_{МВ} = m \cdot c_{М} \cdot \Delta t_{мсп} = m \cdot c_{М} \cdot (t_{мвс1} - t_{мвс2}); \quad (8)$$

$$\Delta t_{мсп} = t_{мвс1} - t_{мвс2} = \frac{\Delta t_{мвн} - \Delta t_{мвв}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{мвн}}{\Delta t_{мвв}}\right)} = \frac{(t_{мвн1} - t_{мвн2}) - (t_{мвв1} - t_{мвв2})}{\ln\left(\frac{t_{мвн1} - t_{мвн2}}{t_{мвв1} - t_{мвв2}}\right)};$$

где $\Delta t_{мсп}$ – уменьшение средней температуры единичной пластины от входного сечения воздушной зоны $t_{мвс1}$ до выходного сечения $t_{мвс2}$ (°С), $\Delta t_{мвн}$ – снижение температуры входной кромки пластины от входного сечения до выходного (°С), $\Delta t_{мвв}$ – снижение температуры выходной кромки пластины от входного сечения до выходного (°С).

Решая совместно методом последовательных приближений уравнения (5) и (6), находим величину средней температуры воздуха $t_{всп}$ на выходе из РВВ, при которой $Q_{ТВ} = Q_{ВВ} = Q_{вс}$. Величину средней температуры выходной кромки пластины $t_{мввс}$ для первого приближения этих уравнений можно принять равной:

$$t_{\text{МВВС}} = t_{\text{МВВС1}} - \frac{t_{\text{МВН1}} - t_{\text{МВН2}}}{2}.$$

Приравнивая найденное значение величины $Q_{\text{ВС}}$ к количеству теплоты охлаждения пластины $Q_{\text{МВ}}$ по уравнению (7), можно определить температуру $t_{\text{МВВ2}}$ выходной кромки пластины на выходе из воздушной зоны.

Второе приближение для решения уравнений (5) и (6) производится при значении:

$$t_{\text{МВВС}} = \frac{t_{\text{МВВ1}} + t_{\text{МВВ2}}}{2}.$$

Результатом решения уравнений (5), (6) и (7) является средняя температура воздуха на выходе из воздушной зоны $t_{\text{ВСР}}$, температура выходной кромки пластины на выходе из воздушной зоны $t_{\text{МВВ2}}$ и количество теплоты $Q_{\text{ВС}}$, переданное от пластины к воздуху за все время перемещения пластины в воздушной зоне.

Температура воздуха $t_{\text{В2}}$ на выходе из РВВ в выходном сечении воздушной зоны определяется после совместного решения методом последовательных приближений уравнений (1) и (2), записанных для выходного сечения:

$$Q_{\text{ТВ2}} = F \cdot \alpha_{\text{КВ}} \cdot \frac{(t_{\text{МВН2}} - t_{\text{В}}) - (t_{\text{МВВ2}} - t_{\text{В2}})}{\ln\left(\frac{t_{\text{МВН2}} - t_{\text{В}}}{t_{\text{МВВ2}} - t_{\text{В2}}}\right)}, \quad Q_{\text{В2}} = G_{\text{В}} \cdot c_{\text{РВ}} \cdot (t_{\text{В2}} - t_{\text{В}}).$$

На этом расчет теплообмена в воздушной зоне и распределения температур воздуха и одиночной пластины закончен.

Из воздушной зоны одиночная пластина, охлажденная до $t_{\text{МВВ2}}$ сверху и до $t_{\text{МВН2}}$ внизу РВВ, попадает в газовую зону, в которой уходящие газы котла с известной температурой $t_{\text{Г}}$, проходя сверху вниз через набивку РВВ, охлаждаются до средней температуры $t_{\text{ГСР}}$. Одиночная пластина набивки РВВ нагревается, температура её входной кромки (со стороны входа газов) увеличивается от $t_{\text{МГВ1}} = t_{\text{МВВ2}}$ до $t_{\text{МГВ2}}$ за время перемещения в газовой зоне $\Delta t_{\text{Г}}$, выраженное в секундах. Температуру входной кромки при этом перемещении можно определить по формуле [11÷16]:

$$t_{\text{МГН2}} = t_{\text{Г}} + \frac{t_{\text{Г}} - t_{\text{МГВ1}}}{\exp\left(\frac{2\alpha_{\text{КГ}} \cdot \Delta t_{\text{Г}}}{\delta \cdot \rho \cdot c_{\text{М}}}\right)};$$

где $\alpha_{\text{КГ}}$ – коэффициент теплоотдачи от газов к пластине $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right)$.

Остальные величины определены ранее. Средний температурный напор между газами и входной кромкой набивки РВВ на входе газов:

$$\Delta t_{\text{ГВ}} = t_{\text{Г}} - t_{\text{МГВС}} = \frac{(t_{\text{Г}} - t_{\text{МГВ1}}) - (t_{\text{Г}} - t_{\text{МГВ2}})}{\ln\left(\frac{t_{\text{Г}} - t_{\text{МГВ1}}}{t_{\text{Г}} - t_{\text{МГВ2}}}\right)}.$$

Средняя температура входной кромки набивки (одиночной пластины):

$$t_{\text{МГВС}} = t_{\text{Г}} - \Delta t_{\text{ГВ}}.$$

Расчет теплообмена и распределения температур в газовой зоне проводится по аналогии с воздушной зоной.

Полученные температуры одиночной пластины $t_{\text{МГВ2}}$ и $t_{\text{МГН2}}$ на выходе из газовой зоны при установившемся режиме работы РВВ должны быть равны температурам $t_{\text{МВВ1}}$ и $t_{\text{МВН1}}$ соответственно для входного сечения воздушной зоны, так как условная расчетная одиночная пластина так же, как и каждая реаль-

ная пластина РВВ, входит в воздушную зону с этими температурами. Количество теплоты $Q_{вс}$ должно быть равно $Q_{гс}$.

Взяты как исходные данные для расчета РВВ температуры набивки $t_{мвв1}$ и $t_{мвн1}$ могут не совпасть с рассчитанными за первый оборот ротора температурами $t_{мгв2}$ и $t_{мгн2}$. Следовательно, это неустановившийся режим работы РВВ. Необходимо продолжить расчет теплообмена в РВВ на втором обороте, приняв полученные за первый оборот температуры пластины на выходе из газовой зоны как исходные во входном сечении воздушной зоны для второго оборота $t_{мвн1} = t_{мгн2}$, $t_{мвв1} = t_{мгв2}$.

Расчет необходимо повторять до тех пор, пока разность температур $t_{мгн2} - t_{мвн1}$ и $t_{мгв2} - t_{мвв1}$ не станет пренебрежимо малой, например, менее $0,1^{\circ}\text{C}$. Несовпадение количеств теплоты $Q_{вс}$ и $Q_{гс}$ при этом станет достаточно приемлемым (менее 0,3 %). Это является условием окончания расчета. Режим теплообмена станет практически установившимся.

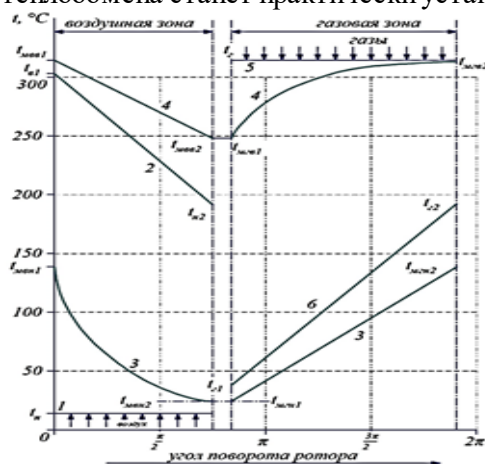


Рис. 1. Графики изменения температур воздуха, газов и пластин набивки по окружности ротора за один оборот при скорости вращения $0,5 \text{ об/мин}$:
 1 – холодный воздух на входе в РВВ;
 2 – нагретый воздух на выходе из РВВ;
 3 – нижняя кромка пластин набивки;
 4 – верхняя кромка пластин набивки;
 5 – газы на входе в РВВ; 6 – газы на выходе из РВВ

В качестве примера на рисунке 1 показано изменение температур воздуха, газов и пластин набивки на входе и выходе воздушной и газовой зон РВВ-54 (установленных на котлах БКЗ-420-140 НГМ-4) по окружности ротора, полученное по изложенной методике, при скорости вращения $0,5 \text{ об/мин}$ для установившегося режима теплообмена. Для расчета приняты температуры холодного воздуха 13°C , газов перед РВВ 320°C . Здесь же даны обозначения температур, используемые в вышеприведенных формулах.

Расчет температурного режима РВВ вручную чрезмерно громоздок из-за большого количества приближений и циклов. Для ускорения расчета составлена программа для компьютера по изложенной выше методике.

Литература

1. Кузнецов Н.В. и др. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова и др. – М.: Энергия. – 1973. – 296 с.
2. Мигай В.К. и др. Регенеративные вращающиеся воздухоподогреватели. – Л.: Энергия, – 1971. – 168 с.

3. Хавер С.В., Елин Н.Н., Мизонов В.Е., Иванов А.Б. Моделирование нагрева и охлаждения насадки регенеративного теплообменника // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2007. – Т. 50. – Вып. 12. – С. 105–107.
4. Агапов Ю.Н., Стогний В.Г., Хаустов М.А. Выбор и обоснование конструкции воздухоподогревателя для котлоагрегата малой производительности // Промышленная энергетика. № 12. 2009. – С. 45-48.
5. Буров В.Д., Дорохов Е.В., Елизаров Д.П. Тепловые электрические станции. - М: Издательский дом МЭИ. 2009. – 466 с.
6. Губарев А.Ю., Кудинов А.А. Тепловой расчет регенеративных воздухоподогревателей энергетических котлов / Межвузовский сборник научных трудов «Повышение энергоэффективности зданий и сооружений». - Самара: СГАСУ. 2011, в.6: -С. 68-73.
7. Данилов О.Л., Гаряев А.Б., Яковлев И.В. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. / под ред. А.В. Клименко. - М.: Издательский дом МЭИ. 2009. – 424 с.
8. Кирсанов Ю.А. Теория теплопроводности в циклических тепловых процессах // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2005. – №6. – С. 39-50.
9. Комягин В.Д. Повышение эффективности работы регенеративных воздухоподогревателей энергетических котлов // Энергетик. 2008. – № 9. – С. 37-39.
10. Кудинов А.А., Губарев А.Ю. Исследование процессов теплообмена во вращающихся регенеративных воздухоподогревателях энергетических котлов // Энергетик. 2012. – № 6. – С. 32-34.
11. X. Zhang, J. Yuan, Z. Tian, et al., Estimation of the direct leakage of rotary air preheaters based on temperature distribution modeling[J], Int. J. Heat Mass Transf. 134 (2019) 119–130.
12. X. Du, Y. Shi, X. Wang, Coupled characterization and experimental verification of heat transfer and air leakage in a quad-sectional rotary air preheater[J], Appl. Therm. Eng. 113923 (2019).
13. Z. Chen, H. Li, Y. Gu, et al., A novel flexible seal technology and its application in heat transfer of rotary air preheater[J], Appl. Therm. Eng. 163 (2019), 114414.
14. L. Wang, C. Tang, et al., A novel design of rotary regenerative condensing heat exchanger for the dehydration from high humidity flue gas[J], Int. J. Heat Mass Transf. 131 (2019) 517–526.
15. K. Ozdemir, M.F. Serincan, A computational fluid dynamics model of a rotary regenerative heat exchanger in a flue gas desulfurization system[J], Appl. Therm. Eng. 143 (2018) 988–1002.
16. A.A. Boroujerdi, M. Esmaeili, Characterization of the frictional losses and heat transfer of oscillatory viscous flow through wire-mesh regenerators[J], Alexandria Eng. J. 54 (4) (2015) 787–794.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 66.045.53

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ
И ТЕПЛО-МАССООБМЕНА В ГРАДИРНЯХ**

Я.Д. Мухиддинова

Мақолада полимер пуркагичли градирняларида сувнинг плёнка, томчилар, сув оқими кўринишидаги буғланиш билан совишни моделлаштириш назарий аспекти кўриб чиқилган ва натижалари келтирилган. Иссиқлик ва масса бериш коэффициентларини аниқлаш учун қувурлар тўпламидаги элементларнинг босқичма-босқич жойлашиши билан пуркагичларда газ-суюқлик совутгичларнинг ҳаракатланиш жараёнлари кўриб чиқилган.

В работе рассмотрены теоретические аспекты и приведены результаты моделирования испарительного охлаждения воды, представленной в градирнях: в виде пленки, капель, струи воды с полимерным оросителем, состоящих из пучка труб шахматного расположения. Рассмотрены процессы движения теплоносителей газ-жидкости в оросителях с шахматным расположением элементов в пучке труб для определения коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи.

The paper considers the theoretical aspects and presents the results of modeling the evaporative cooling of water in the form of a film, drops, water jet in cooling towers with a polymer sprinkler consisting of a bundle of pipes of a staggered arrangement. The processes of movement of gas-liquid heat carriers in sprinklers with a staggered arrangement of elements in a bundle of pipes for determining the heat transfer and mass transfer coefficients are considered.

В современном мире важное значение приобретают исследования, направленные на бесперебойное охлаждение технологического оборудования в производственных отраслях, повышение эффективности обеспечения качественной электроэнергии, а также создание энергосберегающих и ресурсосберегающих рабочих режимов. В связи с этим, уделяется особое внимание повышению энергетической эффективности охлаждения воды с помощью оросителей, движущейся в технологических линиях промышленных предприятий. В этом направлении, том числе в развитых странах, широкое применение градирен позволяет до 95% сократить потребление подпиточной воды.

В мире развитие промышленных предприятий при повышении эффективности теплоэнергетики, в том числе разработка надежных и экологически чистых технологий, приобретает особое значение. В частности, в системах оборотного водоснабжения совершенствование установок, определяющих факторы, влияющие на качество работы каждого отдельного элемента, разработка комплексных методов повышения охлаждающих способностей в системе оборотного водоснабжения для создания энергоэффективных градирен, является одной из важных задач исследовательских работ.

Научные исследования, направленные на разработку технологии и установок охлаждения воды с применением различных типов оросительных установок, водоуловителей и разбрызгивающих устройств, проводятся в ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях.

Ученые А.Ф. Володин, В.С. Понамаренко, Ю.И. Арефьев, В.Б. Андрианов, Л.Д. Берман, А.Г. Лаптев, Р.И. Нигматуллин, Р.Е. Гельфанд, N.G. Deen, J. Nikuradse, D.G. Kroger, Reinhard Billet, Michael Beckmann, Kenzo Kitamura, Susumu Noda, Naguse Ichiro достигли значительных теоретических и практических результатов в решении проблемы энерго- и ресурсосбережения, а также в повышении энергетической эффективности производства. Узбекскими учеными Н.Р. Юсупбековым, Д.Н. Мухиддиновым, С.М. Турабджановым, А.А. Аскарковым, Х.С. Нурмухамедовым и другими также были выполнены исследования в области создания технологии и повышения эффективности интенсификации теплообменных и массообменных процессов.

Несмотря на достигнутые достижения в данной области по совершенствованию существующих и созданию новых способов и методов энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, рабочий режим градирен в плане развития технологического оборудования недостаточно изучен. Развитие технологических средств в градирнях промышленных предприятий и разработка оптимальных вариантов управления считаются важными задачами.

Анализ теории и практики исследований тепло-массообменных процессов свидетельствует о том, что необходимо использовать методы статистической обработки и интегральной оценки результатов исследований. Эта цель достигается путем моделирования испарительного охлаждения воды в градирнях.

В работе для исследования энергетической и технико-экономической эффективности применения выбранного моделирования были проведены расчёты конвективной теплоотдачи при поперечном обтекании пучка труб шахматного расположения, для любых жидкостей и газов.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие основные задачи:

- обзор выполненных теоретических и экспериментальных работ, посвященных моделированию и экспериментальному исследованию процессов охлаждения воды;
- разработка способа и типа экспериментальной модели градирни на основе температурных графиков;
- исследование влияния режимных параметров на процессы охлаждения воды в экспериментальной модели;
- разработка инженерной методики расчета процесса охлаждения воды в градирнях.

Научные и практические результаты работы использованы при проектировании и изготовлении градирен.

В работе сформулированы принципы, положенные в основу разработанных схем технологии моделирования и экспериментальному исследованию процессов охлаждения воды:

- обеспечение высокого качества продукции;

- минимальные затраты энергетических и сырьевых ресурсов, а также вспомогательных материалов;
- максимальное использование вторичных энергоресурсов;
- обеспечение нужных температур для процесса охлаждения воды в градирнях.

Комплексное решение поставленных задач возможно на основе применения безотходных теплотехнологических схем с использованием принципов энерго- и ресурсосбережения.

Для моделирования испарительного охлаждения воды в градирнях были проведены расчёты конвективной теплоотдачи при поперечном обтекании пучка труб шахматного расположения, для любых жидкостей и газов в диапазоне изменения Re от $2 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^5$; было использовано уравнение М.А. Михеева [1], преобразованное с учетом турбулентности потоков, и имеющее следующий вид:

$$\overline{Nu}_n = 0,41 Re_n^{0,6} Pr_n^{1/3} \left(\frac{Pr_n}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}; \quad (1)$$

где Re -критерий Рейнольдса, Pr -критерий Прандтля.

При определении критериев подобия в этой формуле принимаются числовые значения средней температуры потока, скорости в наиболее узком сечении потока и диаметра труб. При этом относительное расстояние между трубами влияет на теплоотдачу сравнительно слабо.

Средняя теплоотдача труб первого ряда определяется по формуле (1), а средняя величина коэффициента теплоотдачи для всего пучка труб находится с учетом $\alpha_{\text{труб}}$ из равенства:

$$\overline{\alpha}_{\text{труб}} = \frac{\overline{\alpha}_1 F_1 + \overline{\alpha}_2 F_2 + \dots + \overline{\alpha}_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}; \quad (2)$$

где $\overline{\alpha}_1, \overline{\alpha}_2, \dots, \overline{\alpha}_n$ - коэффициенты теплоотдачи отдельных рядов труб; F_1, F_2, \dots, F_n - соответствующие поверхности теплообмена и массообмена.

$$\text{Из формулы:} \quad \overline{\alpha}_{\text{мюрб}} = D_t w_1 l_1 \quad (3)$$

определяется D_t - коэффициент турбулентного переноса тепла, который определялся экспериментально и зависит от турбулентного состояния потока, определяемого скоростью течения масс (w_1), и характерным геометрическим размером тела (l_1), взаимодействующего с потоком. После нахождения $\overline{\alpha}_{\text{мюрб}}$ необходимо его значение подставить в уравнение (2).

Таким образом, из уравнения (1) можно найти коэффициент теплоотдачи с поверхности труб, покрытой пленкой воды при обтекании воздухом с учетом турбулизации потоков в оросителе градирни.

Основное внимание было сосредоточено на моделировании процессов переноса (массообмена) в области градирни с насадкой, где происходит наиболее интенсивное охлаждение [2].

Здесь находятся исследуемые объекты: ядро воздушного потока, пограничный слой и пленка жидкости. Пограничный слой образуется на границе раздела фаз «пленка воды, воздушный поток».

Очевидно, что в пограничном слое между контактирующими фазами происходит основное сопротивление процессу переноса диффундируемой массы. Одним из путей интенсификации массообменного процесса является уменьшение пограничного слоя - пленки.

Уравнение для определения толщины δ диффузионной пленки межфазного пограничного слоя на границе раздела фаз имеет вид [1]:

$$\delta = \frac{D}{\beta} \cdot 10^{-7} \text{ м}; \quad (4)$$

где β - коэффициент массоотдачи испаряющей воды, м/ч; D - коэффициент молекулярной диффузии распределяемого вещества для случая F - поверхности, нормальной к направлению диффузии.

Из уравнения (4) следует, что величина β обратно пропорциональна толщине пленки δ . Связь между коэффициентами массоотдачи и диффузии можно представить в виде уравнения:

$$\beta = D / \delta. \quad (5)$$

Были рассчитаны коэффициенты диффузии D распределяемого вещества в жидкости, число Рейнольдса Re для «пленочного» течения и средняя скорость жидкости u_{cp} в насадке.

Если число $Re_n < 1400$ - режим ламинарный и $u_{cp} = 1,5u_{cp}$; если число $Re_{ши} > 1400$ - режим турбулентный и $u_{cp} = 1,15u_{cp}$.

После нахождения параметров охлаждения воды в процессе тепло-массообмена [3] было проведено компьютерное моделирование процесса испарительного процесса охлаждения воды. Представим весь технологический процесс как единое целое с множеством входных и выходных параметров, учитывающее общее количество воды и энергии, подаваемых в распылитель.

Для более глубокого изучения технологического процесса, рассмотрим элементы технологической линии и будем считать каждый из них квазиаппаратом по отдельности. Блок оросителя градирни выполнен в виде модуля, из слоев горизонтально расположенных в шахматном порядке рядов полимерных продольных труб. Трубы закреплены в трубные решетки, при этом трубная решетка выполнена из полимерного материала в виде жесткой решетки. Выбор расстояния между отверстиями в ряду и расстояния между рядами равными диаметру труб, позволяет создать оптимальную скорость потока воздуха для максимальной интенсификации тепло-массообмена, и при этом обеспечивается его оптимальное аэродинамическое сопротивление.

В процессе эксплуатации жесткая конструкция блоков позволяет сохранять исходную конфигурацию собранного блока, что повышает эффективность процессов теплообмена и массообмена в градирне.

Распылительная зона состоит из жидкости и воздуха, в ней происходит контактный теплообменный и массообменный процесс между жидкостью и воздухом. В этом процессе, чем больше показатель расхода воды, тем эффективнее проходит процесс.

Математическое моделирование процесса тепло-массообмена для выбранной распылительной или насадочной зоны j -го аппарата начинается с составления теплового баланса в аппарате:

$$\frac{\partial Q_j}{\partial \tau} = q_{e,j-1} - q'_e - \Delta q_j + \Delta q_{j\text{воз}}; \quad (6)$$

$$Q_j = m_j e_j t_j,$$

где Q_j - теплота жидкости в j -ом квазиаппарате; $q_{e,j-1}$ - тепловая энергия, приходящая с водой в j -ый квазиаппарат; q'_j - тепловая энергия, уходящая с жидкостью из j -го квазиаппарата; Δq_j - тепловая энергия, уносимая испаряющейся жидкостью из j -го квазиаппарата; $\Delta q_{j\text{воз}}$ - тепловая энергия, поступающая из воздуха в j -й квазиаппарат.

Переходим к математическому описанию выше рассмотренных составляющих теплового баланса:

$$q_{e,j-1} = G_{j-1} e_j t_{j-1}; \quad (7)$$

где G_{j-1} - расход воды j -го аппарата; e - теплоемкость воды j -го квазиаппарата; t_{j-1} - температура воды при внесении в j -й квазиаппарат.

$$\text{Далее:} \quad q_j = G_j c t_j; \quad (8)$$

$$\Delta q_{jm} = \Delta G_j I; \quad (9)$$

$$\Delta q_{j\text{air}} = \alpha F_j (t_{\text{air}j} - t_j); \quad (10)$$

где a - коэффициент теплоотдачи; F_j - поверхность, на которую поступает из воздуха в j -й квазиаппарат тепловая энергия; $t_{\text{воз}j}$ - температура воздуха, поступающего в j -й квазиаппарат; t_j - температура j -го квазиаппарата. Изменение расхода воды:

$$\Delta G = \beta F_j (X_{\text{ex}} - X_{\text{air}}); \quad (11)$$

где ΔG - расход воздуха; β - коэффициент массоотдачи.

Напишем систему дифференциальных уравнений изменения массы и температур воздуха и воды по времени:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_j}{\partial \tau} = q_{w,j-1} - q_w - \Delta q_j + \Delta q_{j\text{air}} \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} = \beta F_j (X_{\text{in}} - X_{\text{air}}) \\ \frac{\partial m_j c t_j}{\partial \tau} = G_{j-1} e_j t_{j-1} - G_j c t_j - (\beta F_j (X_{\text{in}} - X_{\text{air}})) i + \alpha F_j (t_{\text{air}j} - t_j) \\ \frac{\partial t}{\partial \tau} = G_{j-1} e_j t_{j-1} - G_j c t_j - (\beta F_j (X_{\text{in}} - X_{\text{air}})) i + \alpha F_j (t_{\text{air}j}) / (m_j c). \end{cases} \quad (12)$$

В (12) имеется ряд показателей, требующих особого подхода. В частности, это коэффициенты массоотдачи β и теплоотдачи α . Для определения значения

этих коэффициентов используются экспериментальные подходы, которые были найдены выше. Другим показателем, существенно влияющим на расчет процесса, является действительная и равновесная концентрация влаги в воздухе. После определения концентрации воды в воздухе для равновесного и для реально действующего условия можно переходить к определению тепло-массообмена трехфазного квазиаппарата.

В трехфазном квазиаппарате основными действующими фазами будут жидкая и газовая фазы. Твердая фаза, т.е. насадочные трубы, способствует улучшению тепло-массообмена за счет увеличения поверхности контакта каплями воды и воздуха, за счет увеличения коэффициента тепло-массообмена и усиления турбулизации потоков [8]. Переходящие в газовую фазу пары воды находим уравнением тепло-массообмена:

$$\Delta G = K_{vj} V_j (X'_j - X_{j-1}) + \Delta G_2 + \dots + \Delta G_{j-1}. \quad (13)$$

здесь K_{vj} – коэффициент массообмена для удельного объема j -ом квазиаппарате; V_j – объем квазиаппарата; X'_j – равновесная концентрация с точки зрения входящей жидкости в j -ом квазиаппарате; X_{j-1} – действительная концентрация влаги для входящего газового потока в j -ом квазиаппарате.

Определение зависимостей коэффициентов массоотдачи от других факторов устанавливается путем сравнения результатов, полученных на математических и физических моделях. Напишем систему уравнений позволяющую, определить параметры процесса охлаждения:

$$t_i = (G_{j+1} c t_{j+1} - \Delta G_i + \alpha F t_{w,j-1}) / (G_0 - \sum_{j-n}^j \Delta G) c + \alpha F) ; \quad (14)$$

$$X_j = \beta_j F_j (X' - X_{j-1}) / m_j ; \quad (15)$$

$$\Delta G_{\text{в}} = G_{\text{в}j-1} (X_{j-1} - X_j) ; \quad (16)$$

$$\text{где: } X^* = \frac{P}{P_0}; P = P = P_0 X_{j-1}^M; G_0 = \frac{G_{\text{в}}}{X_0}.$$

Осуществлена алгоритмизация уравнений 14, 15 и 16, способствующая решению системного уравнения (12). На основе такой алгоритмизации была формализована компьютерная модель, реализованная как Windows-приложение. Модель является мультипрограммным комплексом, включающим графический пользовательский интерфейс и локальную базу данных, разработанный в среде Visual Basic, а также вычислительное ядро и графический вывод в среде Matlab. Компьютерная модель имеет модульную структуру, приспособленную для проведения оптимизационных расчетов, поиска альтернативных вариантов; благодаря возможности независимой модификации кода программных блоков учитываются изменения геометрии насадки, ее тепло-массообменные характеристик и т.п.

Объемный коэффициент массоотдачи β_{xv} , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ или $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, определяется по формуле:

$$\beta_{xv} = A q_{\text{ж}} \lambda ; \quad (17)$$

где коэффициент A характеризует влияние конструктивных особенностей насадки на ее охлаждающую способность, м^{-1} ; $\lambda = q_{\text{в}}/q_{\text{ж}}$ – отношение массовых расходов воздуха и жидкости, $\text{кг}/\text{кг}$; H – высота блока насадки, м ; m – показатель

степени, характеризующий зависимость объемного коэффициента массоотдачи от изменения массовой скорости воздуха.

Исходя из материального баланса системы была составлена компьютерная модель динамического процесса технологической линии охлаждения воды в градирне со всеми входящими и выходящими параметрами, в которой регулируется температура.

Входящими параметрами компьютерной модели тепло-массообменного процесса градирни являются: начальный расход входящего газа G_{g0} , начальная температура T_0 , давление в аппарате, расход жидкости, начальная влажность газа. Выходные параметры: показательный расход выходящего газа G_g , показательная температура T_e , давление аппарата P , расход жидкости G . После формализации компьютерной модели появилась возможность исследования процесса с различными начальными условиями и определения соответствующих показателей процесса. Приняты начальные условия: температура входящей воды 30°C , расход воды $0,4$ кг/с, расход воздуха $0,1$ кг/с, начальная влажность воздуха $0,0002$ кг/кг. Были проведены расчеты: для рабочих объемов аппарата $V_0=0,5$ и $V_0=0,1$; для различных значений коэффициентов массоотдачи; для аппаратов насадочного, распылительно-насадочного и распылительно-насадочного с гидродинамической структурой потоков двухъярусного идеального перемешивания [4].

Гидродинамическая структура потоков в аппарате принята в виде идеального перемешивания. Для расчета приняты: величина объема воды $0,5$ м³, коэффициент масс отдачи 1 (единица). В такой установке вода охлаждается от 30°C до $26,46$ $^{\circ}\text{C}$. С увеличением расхода воздуха температура будет ещё больше уменьшаться. В результате расчета в случае двухсекционного аппарата охлаждения с гидродинамической структурой потока идеального перемешивания для каждой секции, температура охлажденной воды после первой секции имеет $29,03$ $^{\circ}\text{C}$, после второй секции - $25,6$ $^{\circ}\text{C}$. Таким образом, распылительный насадочный аппарат позволяет уменьшать температуру процесса в каждой квазисекции на $3,43^{\circ}\text{C}$ или 24% .

Осуществлён многоступенчатый системный анализ экспериментальной градирни с использованием насадок. Изучены равновесные условия системы вода-воздух, формализованы математические и компьютерные модели процессов тепло-массообмена для жидкой и газовой фаз. Проведенные на компьютерной модели исследования показывают эффективность использования выбранных насадочных элементов [5].

Зависимость температуры охлажденной воды t_2 от плотности орошения q_j для градирни площадью 144 м², сопоставленная с данными [6] приведена на рис.1. По графикам видно, что расчетно-экспериментальные данные удовлетворительно ложатся на кривые (первая кривая) охлажденной воды.

Из табл. 1 видно, что с увеличением скорости воздуха и расхода жидкости снижается значение теплового КПД. Это связано с тем, что при увеличении расхода жидкости в градирню поступает больше тепла $Q = I \cdot c_p (T_H - T_K)$, а расход воздуха остается постоянным [11].

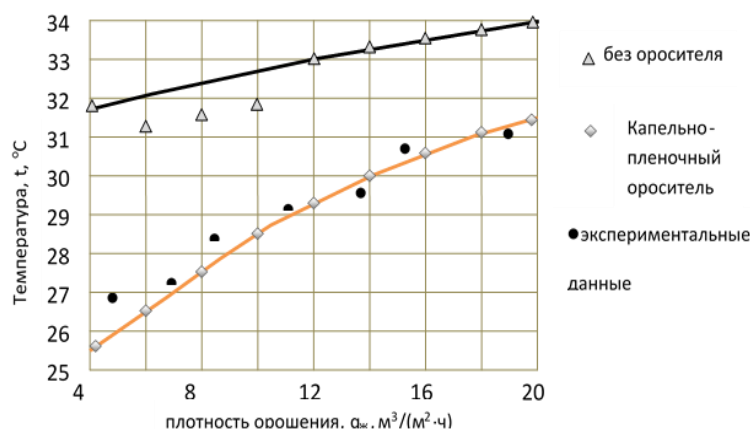


Рис. 1. Зависимость температуры охлажденной воды t_2 от плотности орошения $q_{ж}$, для грядки площадью 144 м^2 : 1 - капельно-пленочный ороситель; 2 - без оросителя; ● - экспериментальные данные

Таблица 1

Результаты обобщенных экспериментальных исследований при различных плотностях орошения и скорости воздуха

Номера опыта	1...4	5...7	8...10	11,12	13,14
Скорость воздуха, w , м/с	1,7	1,72	1,82	1,84	2,1
Плотность орошения, $q_{ж}$, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	4,93	6	7	11	16
Температура воздуха на входе, t , $^{\circ}\text{C}$	17,2	29,2	29,3	29,4	30
Влажность воздуха, %	31,7	31,6	34	32	32
Температура воздуха на входе по показаниям мокрого термометра, t , $^{\circ}\text{C}$	21	20,6	21	22	22
Температура воды на входе, t , $^{\circ}\text{C}$	38	41	43	40	39
Температура воды на выходе, t , $^{\circ}\text{C}$	27	30	32	31	29
Тепловой к.п.д. по жидкости, $\eta_{ж}$, %	65		50	55	61
Коэффициент теплоотдачи, α , $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{К}$	928,8	621	530,4	586,7	601,3
Коэффициент массоотдачи, $\beta_{хв}$, $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{с}$	0,709	0,867	0,991	1,584	2,242

Совпадение расчетных и экспериментальных данных проверялось по критерию Фишера. Для испарительного охлаждения в трубчатом оросителе $F_p=2,54$ табличное значение критерия Фишера для доверительной вероятности $F=9,5$, $F_p=8,74$; $F_p < F$ [7]. Следовательно, полученное уравнение адекватно. Результаты проверки адекватности, выполненные на основе математической модели расчета профиля скорости воздуха в грядке, следующие: коэффициент корреляции $r=0,83$; расчетный критерий Фишера $F_p=2,76$; табличный $F_t=3,01$. Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных кривых свидетельствует о работоспособности предложенной математической модели процесса, достаточно точно отражающей главные эффекты реального процесса тепло-массообмена и скорости воздуха в грядке [10]. Расхождение результатов расчёта теплового КПД по математической модели с опытными данными составляет $\pm 5 \div 10\%$.

Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке научно обоснованной инженерной методики расчета выбора оптимальных

технических решений по конструированию оросителей в промышленных градирнях.

Литература

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Издание второе, стереотипное. - Москва, Энергия, 1977.
2. Пономаренко В.С. Оценка надежности градирен. // Водоснабжение и санитарная техника. - Москва, 1997, - №6.
3. Мухиддинов Д.Н., Муртазаев К.М. Стенд для экспериментального исследования испарительного охлаждения воды в градирне / Международная научная конференция. Инновация-2011 Сборник научных статей. - Ташкент, 2011.
4. Мухиддинов Д.Н. Мухиддинова Я.Д., Муртазаев К.М., Ороситель градирни. Полезная модель Республики Узбекистан № FAP 2014.
5. Mukhidinov D.N., Murtazayev K.M., Mukhidinova Y.D. Experimental analysis of heat-mass-exchange progresses of irrigators cooling stack // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.–Indy Vol. 4, Issue 2, February 2017.
6. Калатузов В.А. Расчетные зависимости оросителей градирни // Энергосбережение и водоподготовка. - Москва. 2011. №1.
7. Каган А.М., Пушнов А.С., Рябушенко А.С. Сравнение эффективности промышленных насадок для испарительного охлаждения оборотной воды в градирнях // Химическая промышленность сегодня. – Москва. 2007. №4.
8. Пушнов А.С. Влияние гидравлического сопротивления регулярных насадок на эффективность процесса испарительного охлаждения оборотной воды в градирнях. // Теплоэнергетика. - Москва, Россия. 2013. №6.
9. Мухиддинов Д.Н., Артиков А., Муртазаев К.М. Системный анализ технологической линии охлаждения воды с использованием градирни // Проблемы информатики и энергетики –Ташкент, 2016. №1.
10. Мухиддинов Д.Н., Мухиддинова Я.Д., Муртазаев К.М., Сбережения энергоресурсов модернизацией технологического оборудования вентиляторной градирни// Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, Узбекистан. 2017. Том 21. №2.
11. Мухиддинов Д.Н., Муртазаев К.М. Моделирования процессов переноса тепла в оросителях градирни // Вестник ТашГТУ –Ташкент, 2010. №4.
12. <http://gradirni.tmim.ru>.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.182.216.28

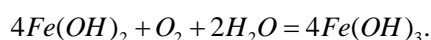
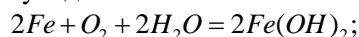
**ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ ҚУРИЛМАЛАРИДА КИСЛОРОД ҲАМДА
КАРБОНАТ АНГИДРИД ГАЗЛАРИ ТАЪРИСИДА ЗАНГЛАШ ВА
ЧЎКИНДИ ҲОСИЛ БЎЛИШИ****М.М. Азимова, Н.М. Курбанова**

Мақолада иссиқлик таъминоти қувурларида кислород ва карбонат ангидрид газлари таъсирида занглаш қонуниятлари ҳамда юқори ҳароратда сув таркибидаги кальций карбонат сульфат бирикмалардан чўкинди ҳосил бўлиши ва бундай чўкинди маҳсулотларининг иссиқлик узатувчи юзаларга таъсири ёритилган.

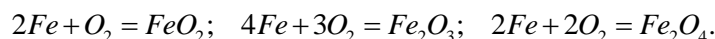
В статье рассмотрены причины появления коррозии металлов теплоэнергетического оборудования при воздействии кислорода и углекислого газа, а также образование карбонатной, сульфатной накипи и её влияние на теплообменное оборудование.

The article discusses the causes of corrosion of metals of thermal power equipment in water when exposed to oxygen and carbon dioxide, as well as the formation of carbonate, sulfate scale and its effect on heat exchange equipment.

Маълумки иссиқлик таъминоти қурилмаларининг кислород (O_2) таъсирида занглашида асосан муҳит ҳарорати ва намлик муҳим роль ўйнайди. Муҳит ҳарорати ошиб борган сари O_2 газнинг металл юзаларида диффузияланиш тезлиги ошади. Шу сабабли сув таркибида O_2 газининг миқдори қанча кўп бўлса темир моддасининг юқори ҳароратда занглаши куйидаги реакциялар асосида содир бўлади:



Ҳосил бўлган $Fe(OH)_3$ сувда кам эрувчан модда бўлганлиги сабабли металл юзасидан занг маҳсулоти сифатида ажралиб чиқади. Тоза темир моддаси намлик бўлмаган шароитда $800-1000^\circ C$ ҳароратда кислород билан куйидаги реакциялар асосида бирикиб металл юзаларда оксид қатламларини ҳосил қилади [1]:

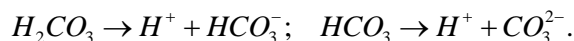


Ҳосил бўлган бундай оксид қатламлари қувурларни занглашдан химоя қилади. Шу сабабли бу оксидларни металлни занглашдан химояловчи оксид қатлами дейилади [1].

Иссиқлик таъминоти тизимларида ишлатилаётган сув таркибида қанча кўп миқдорда карбонат ангидрид (CO_2) гази мавжуд бўлса бу газнинг сувда эриши натижасида карбонат кислотаси H_2CO_3 ҳосил бўлади. Маълумки H_2CO_3 кучсиз

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

кислота бўлсада, сувда куйидагича ионларга парчаланеди, яъни диссоциацияланади.



Сувнинг ҳарорати кўтарилиши билан H_2CO_3 нинг диссоциацияланиш даражаси ҳам ортади ва сув таркибида H^+ катионларининг концентрацияси кўпаяди. Бу катионлар таъсирида темир металлининг занглаш механизми куйидаги ҳолатда содир бўлади.



1-расм. Иссиқлик таъминоти қувурларининг CO_2 гази таъсирида занглаш механизми

Эритмадаги H^+ катионлари ўзига металл электронларини бириктириб $2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$ галваник элементининг катод кутбини, электронини берган $Fe - 2e^- \rightarrow Fe^{2+}$ темир моддаси эса анод кутбини ҳосил қилади. Анод кутбда ҳосил бўлган Fe^{2+} катионлари эритмадаги CO_3^{2-} анод билан бирикиб занг маҳсулоти сифатида $FeCO_3$ бирикмасини ҳосил қилади ва бу бирикма сувда жуда кам эриши сабабли металл юзаларидан чўкинди маҳсулотлари ҳолатида ажралиб чиқади.

Шуни такидлаш лозимки галваник элементнинг катод кутбда ҳосил бўлаётган H газнинг миқдори ва ҳосил бўлиш тезлиги, темир моддасининг CO_2 гази таъсиридаги занглаш тезлигини билдиради.

Металл ва металл қотишмаридан иборат бўлган иссиқлик энергетик қурилмаларнинг занглаш тезлиги ва занглаш жараёнлари қандай усулда содир бўлиши ички ва ташқи сабабларга боғлиқ. Ички сабаблари металлларнинг таркиби, структураси ва уларнинг электролит моддалар билан тўқнашишда бўлган юза қатламларнинг ҳолатидан иборат [2].

Ташқи сабаблари металл юзасидаги муҳит таркибида мавжуд бўлган агрессив моддаларнинг яъни O_2 , CO_2 , каби газлар, кислоталар, тузлар ҳамда муҳит ҳарорати ва рН кўрсаткичи таъсирдан иборат.

Тажрибада аниқланишича таркиби ва структураси бир хил бўлган аммо муҳит билан мулоқотдаги ташқи юзаси ҳар хил металлларда каррозия жараёнлари ўзаро таққосланганда металл юзалари силлиқ бўлмаган юза қатламларда занглаш жараёнлари тезроқ содир бўлади. Бу ҳолат айниқса металл юзаларнинг ташқи муҳит таъсирида шикастланган нукталарида ҳамда суюқлик ҳаракати секин бўлган жойларида кўпроқ содир бўлади.

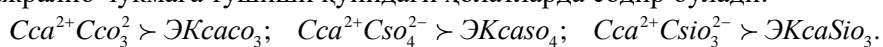
Шу сабабли иссиқлик техникасида ишлатиладиган иссиқлик алмаштирувчи қурилмалар ва сув қувурларнинг узок муддат самарали ишлаши, уларнинг қандай металллар қотишмасидан тайёрланганлигига ҳамда уларнинг иссиқлик алмаштирувчи юзалари каррозияга бардош берувчи оксид пардаси билан қопланиш ҳолатларига ҳам боғлиқ бўлади [3].

Масалан, иссиқлик электр станцияларида буғ қиздирувчи қувурлар юқори ҳароратга бардош берадиган хром никелли пўлат металллардан яъни таркибида 18% хром ва 12% никел бўлган Х18Н10Т маркали пўлат қотишмасидан, турбина агрегатининг юқори ва ўрта босим цилиндрининг кураклари, диск ва ротор қисмлари хромли IXПМФ, I8XПМФБ маркали пўлат қотишмаларидан тайёрланади.

Паст босимли цилиндр қисмидаги вал ва дисклари эса ЗУХН1М, ЗУХН3М маркали пўлатдан тайёрланади. Шунингдек иссиқлик таъминотида ишлатиладиган қувурлар ва ускуналар қандай шароитда, қандай ҳароратда ишлатилишига мослаштириб танланиши уларнинг узок муддат самарали ишлашини таъминлайди [2].

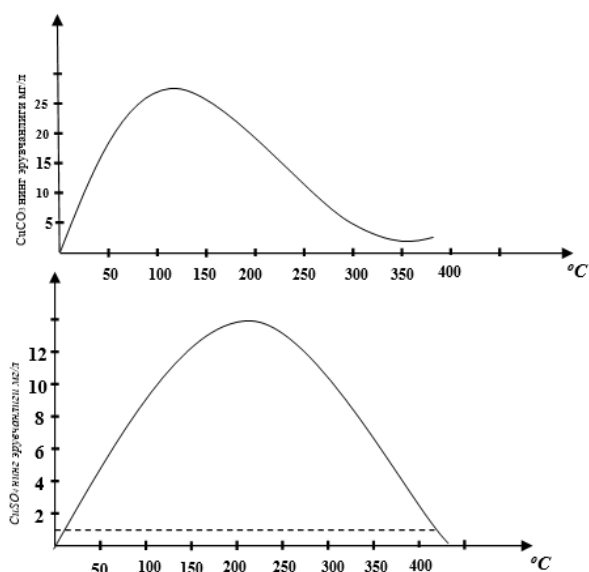
Иссиқлик таъминоти соҳасида сувни қиздирувчи қувурларда, паст ва юқори босимли таъминот суви қиздиргичларида, экономайзер қувурларида, буғ қозонига берилаётган сувнинг ҳарорати тabora кўтарилиб бориши ҳамда қозон қурилмасида сувнинг узлуксиз буғланиши жараёнларида сувда мавжуд бўлган ҳар хил моддалар сувдан ажралиб чўкмага тушиши натижасида қиздирувчи металл юзаларда мустахам ёпишган чўкинди маҳсулотлар ҳосил бўлади. Бундай чўкинди маҳсулотларни иссиқлик таъминотида «накип»лар дейилади [4].

Маълумки ҳар қандай моддаларнинг чўкмага тушиш сабаби уларнинг сувдаги эрувчанлиги миқдори билан белгиланади. Шунингдек лозимки ҳар қандай сувда кам эрувчан кимёвий моддаларнинг эриган миқдорини белгиловчи қиймат унинг эрувчанлик кўпайтмаси (ЭК) дейилади. Моддаларнинг ЭК си бир хил ҳароратда ўзгармас катталиқдир ҳар қандай модданинг ЭКси сув ҳарорати ўзгариши билан ўзгаради. Масалан сув таркибида Ca^{2+} ва Co_3^{-2} , SO_4^{-2} , S_1^{-1} , O_3^{-2} , ионлари мавжуд бўлса $CaCO_3$, $CaSO_4$, $CaSiO_3$ каби чўкинди моддаларнинг сувдан ажралиб чўкмага тушиши қуйидаги ҳолатларда содир бўлади:



Яъни бу ионларнинг сувдаги концентрацияси кўпайтмаси шу моддаларнинг ўзгармас ҳароратдаги эрувчанлик кўпайтмасидан катта бўлганда уларнинг чўкинди маҳсулотлари ажралиб чиқиши бошланади.

Тажриба натижалари кўрсатишича $CaCO_3$ бирикмасининг эрувчанлиги қуйидаги 1-расмида кўрсатилганидек сув ҳарорати 100-120° гача кўтарилганда бу моддаларнинг эриш миқдори энг юқори даражага кўтарилиб, ҳарорат бу даражадан юқорилашиб бориши билан уларнинг сувдаги эрувчанлиги камайиб боради. $CaSO_4$ бирикмасининг эрувчанлиги $CaCO_3$ нинг эрувчанли кўпайтмасидан юқори бўлганлиги сабабли $CaSO_4$ нинг энг кўп миқдордаги эрувчанлиги 180-200°С атрофида.



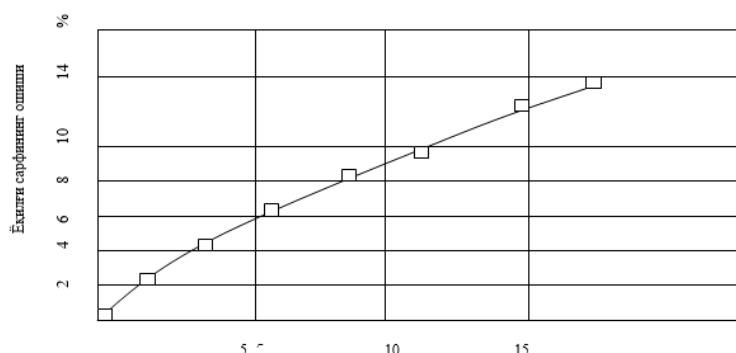
2-расм. $CaCO_3$ ва $CaSO_4$ бирикмаларининг эрувчанлиги сув ҳароратига боғлиқлиги

Бу графиклардан кўринадикки иссиқлик техникасида ишлатилаётган сувлар таркибида қанча кўп миқдорда $CaCO_3$ ва $CaSO_4$ бирикмалари бўлса иссиқлик алмашинуви ва буғ ҳосил қилувчи қувурларда ҳароратнинг 150 дан ортиб бориши билан $CaCO_3$ нинг ҳамда 200⁰С дан юқорида $CaSO_4$ нинг сувдаги эрувчанлиги камайиб металл юзаларида металлга мустаҳкам ёпишади, уларда чўкинди қатламлари ҳосил бўла бошлайди.

Шу сабабли юқори қувватли ИЭСларининг блок қурилмасида ҳаракатланаётган сув таркибида калцийнинг бундай бирикмалари қанча кўп бўлса уларнинг чўкинди маҳсулотлари накип ҳолатларида асосан таъминот суви қувурларида паст ва юқори босимли қиздиргичларда ҳамда буғ қозонининг экономайзерларида кўпроқ ҳосил бўлади [5].

Металл юзасида чўкинди қатламлар қанча қалин бўлса металлларнинг иссиқлик ўтказувчанлик хусусияти шунча пасаяди. Бунга сабаб чўкинди қатламларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги металлларникига нисбатан бир мунча кичиклигидир. Шу сабабли сувни қиздириш ёки буғлатиш жараёнида ёқилғи сарфи кўпаяди [6].

Иссиқлик алмашувчи юзаларда ҳосил бўлган қатламлар қанча қалин бўлса бундай юзалардан иссиқликнинг ўтиши ҳам шунча кам бўлади ва сувни қиздириш ёки буғланиш жараёнларида ёқилғининг ортикча миқдорда сарифланиши кўпаяди. Қуйидаги 3-расмда иссиқлик алмашувчи юзаларда ҳосил бўлган қатламлар қалинлиги ортиб бориши билан унга пропорционал равишда ёқилғи сарфи ортиб бориши кўрсатилган. Олинган маълумотларда кўрсатилишича иссиқлик алмашувчи юзада чўкинди қатлам қалинлиги 1 мм бўлганда ёқилаётган газнинг сарфи 2,8% га, қатлам қалинлиги 5 мм бўлганда газ ёқилғисининг сарфи 7,8% га ортиши аниқланган [7].



3-расм. Чўкинди қатламнинг қалинлигига боғлиқ ёқилғи сарфи ўзгариши

Ёритилган маълумотлардан кўринадики иссиқлик энергетикаси қурилмаларнинг узок муддат самарадорли ишлаши ҳамда бу соҳада ёқилғи сарфининг тежамлиги ишлатилаётган сувнинг тозалик даражасига боғлиқ бўлади.

Адабиёт

1. Юсупалиев Р.М. / Иссиқлик энергетикаси сув тайёрлаш технологияси ва техникаси. – Ташкент: Чўлпон. 2006.
2. Юнусов Б.Х., Азимова М.М., / Иссиқлик таъминоти ва иссиқлик тизимлари. Ўқув қўлланма. – Тошкент: Ворис нашёти. 2014.
3. Очков М.С. / Водоподготовка. – Москва: изд.МЭИ, 2003.
4. Абрамов А.И. и др. / Повышение экологической безопасности ТЭС. – Москва: МЭИ. 2002.
5. Громагласов Г.И., Вихрев В.Ф. / Водоподготовка. – Москва: Энергия. 1973.
6. Курбанова Н.М. Барабанли буғ қозонларда олинадиган буғнинг ифлосланишини камайтириш имкониятлари // International conference on educational innovations and applied sciences 2022/7 Vol.1 No.3 (2022): Educational Research in Universal Sciences. -С.83-85.
7. Азимова М.М., Азимова Г.С., Рахматов Д.Т. Система теплоснабжения и подготовка воды для отопления / Сборник международной научной конференции «Перспективы в энергетике и современные решения проблем». Наманган, 2022, - С.44-46.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган.*

УДК 621.316.937

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
РАБОТЫ ВОДОПОДЪЕМНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**

К.Г. Абидов, Н.Б. Хамудханова, М.О. Гафурова

Сув кўтарувчи насос агрегатларининг ишлаш самарадорлигига насос агрегатининг тузилиши ва эксплуатацион параметрларид сезиларли даражада таъсир қилади. Уларни созлаш бўйича таъшикий-техник чора-тадбирларни қўллаш ва гидроэнергетика қурилмаларининг хусусиятларини ўзгартириши орқали сув таъминоти учун электр энергияни тежашга эришиши мумкин. Насос агрегатининг ишлаб чиқилган усули ушбу боғлиқликларни кейинчалик таҳлил қилиши ва тегишли қарор қабул қилиши учун олиш имконини беради.

Эффективность функционирования водоподъемных насосных агрегатов существенно зависит от конструктивных и эксплуатационных параметров насосного агрегата. За счет применения организационно-технических мероприятий по их корректировке и необходимых изменений характеристик гидросилового оборудования можно добиться снижения затрат электроэнергии на подачу воды. Разработанная методика позволяет получить данные зависимости и параметры для анализа и принятия соответствующего решения.

The efficiency of the functioning of water-lifting pumping units is significantly influenced by the design and operational parameters of the pumping unit. Through the use of organizational and technical measures for their adjustment and the necessary changes in the characteristics of hydraulic power equipment, it is possible to achieve a reduction in the cost of electricity for water supply. The developed methodology of the pumping unit makes it possible to obtain these dependences for their subsequent analysis and making an appropriate decision.

Введение. Каждый насосный агрегат (НА) имеет всасывающий и напорный трубопроводы, по которым осуществляется перемещение жидкости под воздействием напора, развиваемого центробежным насосом. Напорный трубопровод НА принято обычно делить на две части: коммуникационный (в пределах помещения водоподъемных насосных станций) (ВНС) и подводящий (от помещения ВНС до места подсоединения к основному гидравлическому напорному трубопроводу). Конструктивные параметры каждого из указанных трубопроводов влияют на энергетические показатели функционирования НА за счет имеющихся потерь напора [1-4].

Разработанная методика позволяет определить характер и величину влияния отмеченных конструктивных параметров трубопроводов на показатели работы НА. Безусловно, в процессе эксплуатации НА они не могут быть изменены. Однако на этапе проектирования, когда по заданным характеристикам гидросилового оборудования ВНС производится расчет и выбор трубопроводной сети НА, учет подобного влияния может оказаться необходимым, способствуя

выявлению наиболее рациональных размеров всасывающих, коммуникационных и подводящих напорных трубопроводов водоподъемных НА.

Методы и материалы. Рассчитаны зависимости показателей функционирования НА, укомплектованного центробежным насосом марки Д1600-90 и приводным электродвигателем типа А12-41-4, от диаметров и протяженностей рассматриваемых трубопроводов при скорости вращения АД равного $n_H = 1450$ об/мин, номинальной подаче НА $Q_H = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}$, а также построены их графики.

На рис. 1 приведены зависимости удельного расхода электроэнергии, КПД и подачи НА, а также сопротивления всасывающего трубопровода от величины его внутреннего диаметра D_v .

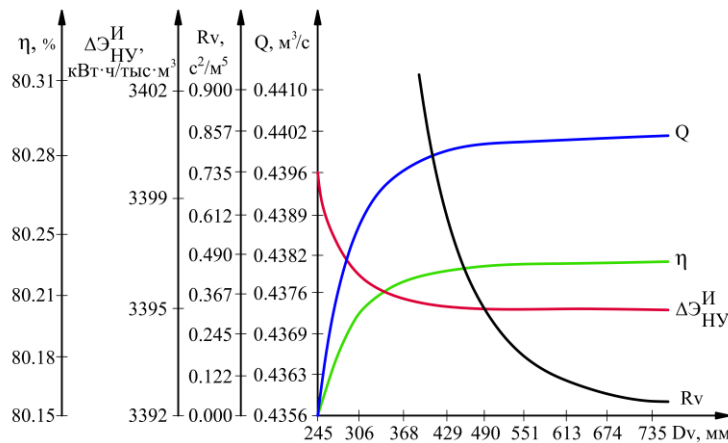


Рис. 1. Зависимости показателей функционирования насосной установки от внутреннего диаметра всасывающего трубопровода

Увеличение внутреннего диаметра всасывающего трубопровода приводит к уменьшению его сопротивления R_v . Соответственно уменьшается общее сопротивление трубопроводной сети R_{TP} . Несмотря на незначительность указанных изменений из-за небольшой величины R_v по отношению к R_{TP} , это, в свою очередь, приводит к смещению характеристики трубопроводной сети H_{TP1} в положение H_{TP2} (рис. 2).

При этом рабочая точка 1 переходит в точку 2. Новая рабочая точка 2 характеризуется возросшими значениями подачи ($Q_2 > Q_1$), механической мощности ($P_{M2} > P_{M1}$) и КПД насоса ($\eta_2 > \eta_1$). Более высокое КПД в точке 2 объясняется тем, что, как правило, у большинства центробежных насосов номинальное значение КПД, указанное в паспорте, не соответствует максимальной его величине и оказывается незначительно смещенной левее от максимума вдоль характеристики $Q - \eta$ [5,6].

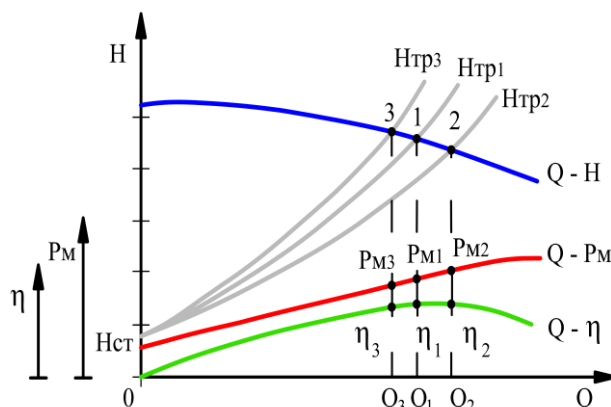


Рис. 2. Влияние изменения диаметра и длины трубопроводов на показатели функционирования насосного агрегата

Увеличение внутреннего диаметра всасывающего трубопровода способствует росту величины подачи воды центробежным насосом, увеличению КПД НА до его максимального значения и, соответственно, снижению удельного расхода электроэнергии, что и отражено на графике рис.1. Так как максимальное значение КПД достигается, при значительной величине D_v , то для центробежного насоса марки Д1600-90 целесообразным является выбор значения внутреннего диаметра всасывающего трубопровода порядка 500 мм. При $D_v < 500$ мм происходит снижение КПД НА и, соответственно, возрастание удельного расхода электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$. Использование, применительно к центробежным насосам марки Д1600-90 всасывающих трубопроводов с $D_v > 500$ мм приводит к неэффективному расходу металла, увеличению затрат на амортизацию и текущий ремонт, практического смысла не имеет, так как значение КПД и удельного расхода электроэнергии при дальнейшем увеличении D_v изменяется незначительно (рис. 1).

На рис.3 приведены зависимости удельного расхода электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$, КПД η , подачи Q НА и сопротивления R_v всасывающего трубопровода от его длины L_v .

Увеличение длины всасывающего трубопровода L_v центробежного насоса марки Д1600-90 приводит к увеличению его сопротивления R_v , что вызывает возрастание общего сопротивления трубопроводной сети. При этом малые изменения R_v способствуют смещению характеристики трубопроводной сети H_{TP1} в положение H_{TP3} (рис.2).

Рабочая точка 1 перемещается в точку 3, которая характеризуется меньшими значениями подачи воды ($Q_1 > Q_3$), механической мощности ($P_{M1} > P_{M3}$) и КПД ($\eta_1 > \eta_3$). Следовательно, увеличение L_v приводит, наряду с возраста-

нием сопротивления всасывающего трубопровода, к уменьшению подачи воды, снижению КПД и росту удельного расхода электроэнергии, что и отражено на рис. 3.

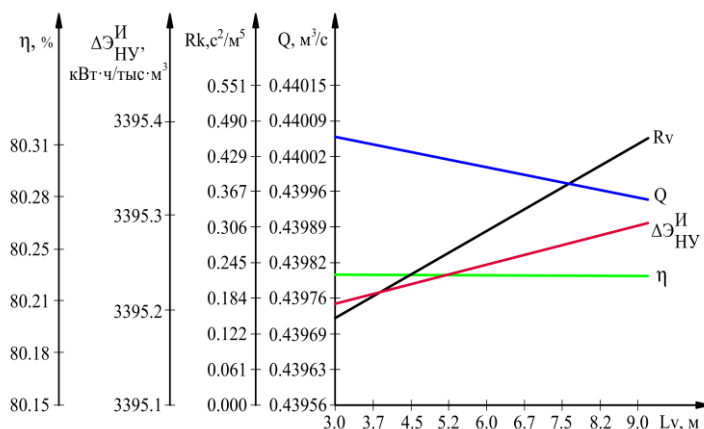


Рис. 3. Зависимости показателей функционирования насосного агрегата от длины всасывающего трубопровода

Анализ расчетных данных и графиков (рис. 3) показывает, что на каждые 0,5 м длины L_v КПД изменяется менее чем на 0,001%, а удельный расход электроэнергии приблизительно на 0,008 кВт*ч/тыс. м³.

Это означает, что L_v существенного влияния на энергетические показатели функционирования НА не оказывает и ее выбор должен основываться на общепринятых в практике проектирования ВНС правилах [7-10].

На рис.4. приведены зависимости основных показателей функционирования НА от внутреннего диаметра коммуникационного напорного трубопровода D_k .

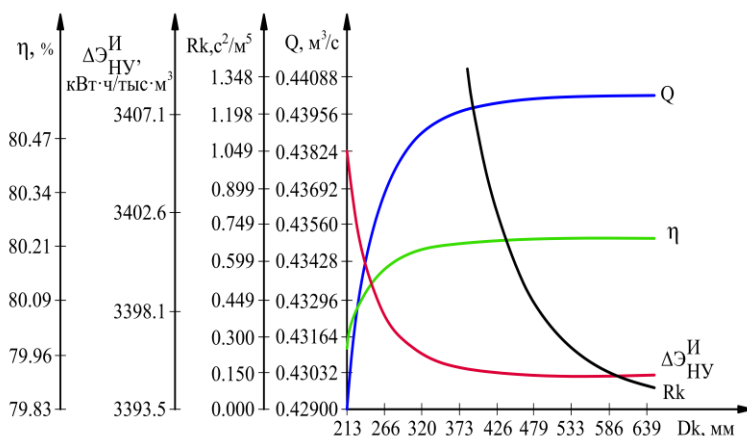


Рис. 4. Зависимости показателей функционирования насосного агрегата от внутреннего диаметра коммуникационного напорного трубопровода

Как видно из графика, увеличение D_k приводит к снижению сопротивления коммуникационного напорного трубопровода R_k . При этом, по аналогии с изменением диаметра всасывающего трубопровода, увеличение D_k вызывает изменение характеристик трубопроводной напорной сети H_{TP1} на H_{TP2} (рис.2) и, в соответствии с изложенными выше пояснениями, приводит к росту подачи воды Q и КПД η НА, снижению удельного расхода электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$. При достижении величины геометрического размера $D_k = 425$ мм КПД и удельный расход электроэнергии практически стабилизируются, меняясь очень незначительно.

Таким образом, увеличение D_k свыше 425 мм приводит лишь к нерациональным затратам металла, увеличению отчислений на амортизацию и текущий ремонт.

На рис. 5 приведены зависимости показателей функционирования НА от внутреннего диаметра подводящего напорного трубопровода D_p .

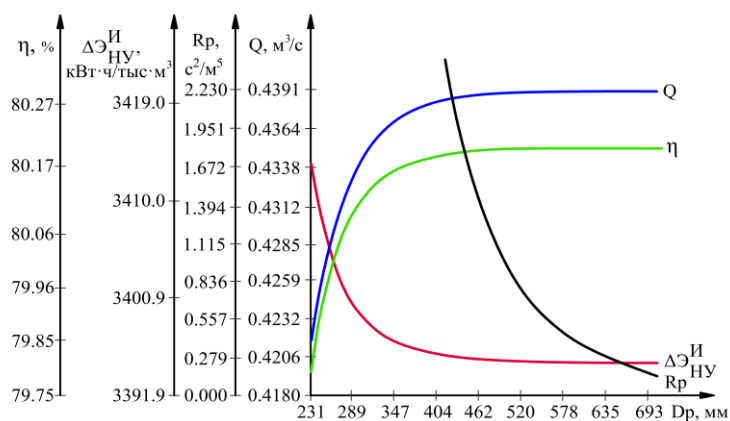


Рис. 5. Зависимости показателей функционирования насосного агрегата от внутреннего диаметра подводящего напорного трубопровода

Характер изменения кривых удельного расхода электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$, КПД η , подачи воды Q НА и сопротивления подводящего напорного трубопровода R_p аналогичен характеру графиков в случае всасывающего и коммуникационного трубопровода. При малых значениях D_p сопротивление R_p велико, что обуславливает невысокие значения КПД и значительный удельный расход электроэнергии. При достаточно возросших значениях D_p удельный расход электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$ принимает свои наименьшие, а КПД η - соответственно наибольшие значения. Однако, как и в случаях всасывающего и коммуникационного трубопроводов такое положение будет отражаться на увеличении капитальных и эксплуатационных затрат, приходящихся на долю подводящих напорных трубопроводов. На наш взгляд, наиболее приемлемым можно считать,

судя по графикам рис.5 и расчетным данным, величину геометрического размера D_p порядка 470 мм.

Характер зависимостей удельного расхода электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$, КПД η , подачи воды Q и сопротивления подводящего напорного трубопровода R_p от его длины L_p изображен на рис.6.

Аналогично зависимостям показателей функционирования НА от длины всасывающего и коммуникационного трубопроводов длина подводящего напорного трубопровода L_p не имеет существенного влияния на КПД и удельный расход электроэнергии НА. В частности, изменение длины подводящего напорного трубопровода на 1 м приводит к изменению удельного расхода электроэнергии лишь на 0,022 кВт * ч/тыс. м³.

Исследования влияния конструктивных параметров всасывающих, коммуникационных и подводящих напорных трубопроводов насосных агрегатов на режимы ее функционирования показало, что КПД и удельный расход электроэнергии незначительно зависят от длин указанных напорных трубопроводов и существенно меняются при изменениях их диаметров. При этом изменение длин вышеназванных трубопроводов на 0,5 м приводит к изменению КПД НА менее чем на 0,001%, а изменение их диаметров на каждые 10 мм оказывает в среднем влияние на КПД НА: для всасывающих трубопроводов – порядка 0,003%, для коммуникационных – 0,009%, для подводящих напорных трубопроводов – 0,018%.

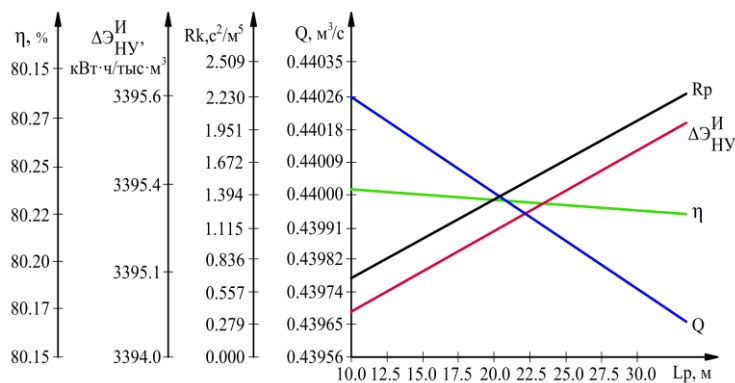


Рис. 6. Зависимости показателей функционирования насосного агрегата от длины подводящего напорного трубопровода

Определим влияние на энергетические показатели работы НА изменение геометрических размеров рабочего колеса центробежного насоса.

На рис.7 приведены рассчитанные по разработанной математической модели, зависимости удельного расхода электроэнергии, КПД и подачи воды НА, комплектованного центробежным насосом марки Д1600-90 с паспортным диаметром рабочего колеса 540 мм, от величины внешнего фактического диаметра

рабочего колеса D_ϕ . При этом сопротивление трубопроводной напорной сети сохраняется неизменным [11-14].

С уменьшением фактического диаметра рабочего колеса центробежного насоса его подача должна резко падать, что соответствует изображенной на рис. 7 зависимости подачи НА от величины D_ϕ , а это, в свою очередь, приводит к уменьшению развиваемого напора и снижению полезной мощности. Однако снижение механической мощности, подводимой к валу центробежного насоса, оказывается опережающим, что приводит к росту КПД и уменьшению удельного расхода электроэнергии. Наконец, в некоторой точке темпы изменения полезной и механической мощностей выравниваются.

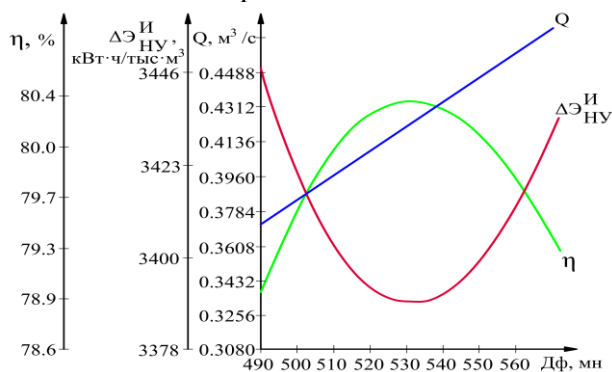


Рис.7. Зависимости показателей функционирования насосного агрегата от изменения фактического диаметра рабочего колеса насоса

При дальнейшем уменьшении D_ϕ полезная мощность снижается уже с опережением, по сравнению с механической мощностью центробежного насоса. В связи с этим КПД начинает падать, а удельный расход электроэнергии увеличивается. Согласно изложенному, можно определить значение D_ϕ , которому соответствуют максимум КПД и минимум удельного расхода электроэнергии.

Выводы. Таким образом, отточка порядка на 15% рабочих колес центробежных насосов (в допустимых пределах), может оптимизировать значение их фактических диаметров, соответствующие минимуму удельного расхода электроэнергии и максимуму КПД насосных агрегатов. Выявлены характеры влияния изменений целого ряда конструктивных и эксплуатационных параметров гидромеханического и электромеханического оборудования на энергетические показатели функционирования насосного агрегата водоподъемной насосной станции.

Литература

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 23.08.2017 года №ПП-3238 «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий».
2. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. /Под общей редакцией академика Салимова А.У.-Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi, 2021. – 952 с.

3. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Аналитический обзор. -Т. 2006. – 380 с.
4. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. -М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
5. Хамудханов М.М. Математическое моделирование насосной установки систем электромашинного орошения. // Вестник ТашГТУ, 2011. № 1-2. –С.53-58.
6. Камалов Т.С., Хамудханов М.М. Система электропривода насосных установок машинного орошения. -Ташкент: Фан, 1985. – 96 с.
7. Камалов Т.С., Хамудханов М.М., Ахмедов И. Методические указания по нормированию удельных норм расхода электрической энергии и прогнозированию энергопотребления насосными станциями, каскадами насосных станций, скважинами по уровням планирования. -Ташкент:Узинформэнерго, 1990. –79 с.
8. Хамудханов М.М., Юссеф Рабах. Методика расчета постоянных коэффициентов аппроксимации рабочих характеристик насоса. /Автоматлашган электр юритма. ТошДТУ илмий ишлар тўплами, -Тошкент, 1994. – С. 92-96.
9. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и водоотведения. 3-е изд. -Л.:Стройиздат, 1986. – 384 с.
10. Абидов К.Г. Повышение надежности работы мелиоративных насосных станций с применением самозапуска электродвигателей. //Электрооборудование, эксплуатация и ремонт. -Москва, 2020 № 3 (189) март. – С.34-38.
11. Абидов К.Г., Зарипов О.О. Анализ режимов электромеханических переходных процессов асинхронного двигателя при самозапуске насосных установок. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2021. -№4. – С.86-91.
12. Абидов К.Г., Хамудханова Н.Б. Математическая модель насосной установки систем водоподъемных насосных станций. //Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. Россия. 2021. -№1, – С.27-32.
13. Abidov K.G., Zaripov O.O., Zaripova Sh.O. Mathematical modeling of self-starting asynchronous electric drives. /Technical science and innovation. TSTU-Tashkent, 2021. – С.146-151.
14. Абидов К.Г., Зарипов О.О., Хамудханова Н.Б., Гафурова М.О. Особенности функционирования насосных установок и задачи обеспечения энергосберегающих режимов их работы посредством управления ими. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Махсус сон (41), 2022. –С.216-227.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С НЕПРЕРЫВНЫМ ХАРАКТЕРОМ
ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ**

Э.Г. Усманов, И.У. Рахмонов

Мақолада узлуксиз ишлаб чиқариш характеридаги саноат корхоналарида кучланишни ростлаш ҳисобига электр энергияси сифатини яхшилаш усули ма-саласи кўриб чиқилган. Асосий ижрочи қурилма сифатида иккита иккиламчи чўлғамга эга бўлган вольтқўшувчи трансформатор қўлланилган бўлиб, улар мос равишда бирламчи чўлғамга уланган. шу билан бирга қирувчи кучланишининг ўз-гарлигини сезувчи ҳамда вольтқўшувчи трансформаторнинг иккиламчи чўлғамини қайта улаш қурилмаси сифатида тез ҳаракатланувчи контактсиз кучланиш релесинини қўллаш таклиф этилган.

В статье рассматривается способ улучшения качества электрической энергии на предприятиях с непрерывным характером производства за счет регулирования напряжения. В качестве исполнительного устройства используется вольтдобавочный трансформатор с двумя вторичными обмотками, включенными согласно с первичной обмоткой. В качестве чувствительного устройства к изменениям входного напряжения, а также устройства, переключающего вторичные обмотки вольтдобавочного трансформатора, используются быстродействующие бесконтактные реле напряжения.

This article discusses a way to improve the quality of electrical energy in enterprises with a continuous nature of production through voltage regulation. As an actuator, a step-up transformer with two secondary windings connected in accordance with the primary winding is used. As a sensitive device to changes in the input voltage, as well as a device that switches the secondary windings of the step-up transformer, fast-acting non-contact voltage relays are used.

Электроэнергия, как особый вид продукции, обладает определенными характеристиками, которые позволяют судить о ее пригодности для различных производственных процессов.

Совокупность характеристик, при которых приемники электроэнергии способны выполнять заложенные в них функции, объединены общим понятием качество электроэнергии, наряду с надежностью, безопасностью, является одним из обязательных требований, предъявляемых к системам электроснабжения. Качество электроэнергии характеризуется совокупностью свойств и показателей. Обеспечение необходимого качества электрической энергии – это проблема, которая решается, при её генерации, передаче, распределении и потреблении. Основным параметром и показателем качества электрической энергии принято считать напряжение и его качество. Задачей управления качеством электрической энергии является обеспечение технически допустимых значений показателей качества на зажимах электроприемников электрической энергии. От-

клонение этих показателей от допустимых значений приводит к нарушению нормальной работы электроприемников, сокращению срока их службы, возникновению брака продукции, снижению производительности в промышленности, т.е. к различному ущербу.

В области управления качеством электрической энергии были получены значительные результаты, соответствующие достигнутому уровню средств измерения показателей качества электрической энергии. Именно средства измерения показателей качества напряжения дали возможность сделать следующий шаг в решении задачи улучшения качества электрической энергии.

Для количественной оценки качества электроэнергии необходима такая система единичных или обобщенных (интегральных) показателей, чтобы качество было измеримым, сравнимым и доступным для контроля и управления.

На электростанциях производят электроэнергию достаточно высокого качества, а ухудшение качества электроэнергии происходит в процессе ее передачи и потребления в результате влияния электрических приемников. Характерные свойства электроэнергии, необходимые для определения требований к системе показателей качества электроэнергии, состоят в следующем:

- при симметрии и синусоидальности трехфазной системы напряжений и значениях напряжения и частоты, равных или близких к номинальным значениям для электрооборудования, требования, сформулированные выше, практически полностью удовлетворяются. Наибольшая народнохозяйственная эффективность может быть достигнута при некоторых отступлениях от указанных условий;

- если условия п. 1 не удовлетворяются, появляются отрицательные воздействия на потребителей. Эти воздействия имеют как общие, так и специфические особенности в зависимости от характера нарушения, связанного с понижением качества электроэнергии. Последнее необходимо учитывать при установлении системы понижением качества электроэнергии;

- неблагоприятное влияние на потребителей может проявляться как постоянно, путем накопления необратимых изменений (брак или недоотпуск продукции, старение изоляции и др.), так и скачкообразно (отказы или сбои в работе автоматических устройств, взрывы батарей конденсаторов и др.). Это обстоятельство свидетельствует о необходимости ограничения допустимых значений понижением качества электроэнергии, определяющих указанные отрицательные воздействия;

- электромагнитные и другие характеристики электрических систем и систем электроснабжения потребителей изменяются во времени, как правило, по вероятностным законам, поэтому изменения качества электроэнергии являются случайными величинами.

Одной из причин ухудшения качества электроэнергии являются так называемые «провалы» напряжения, которые наблюдаются при коммутации мощных нагрузок: сталеплавильных электропечей, полупроводниковых преобразователей и т.п. Провалы напряжения могут быть как кратковременными, так и длительными, одноразовыми и многократными на предприятиях с непрерывным характером производства. Провалы напряжения приводят не только к ухудшению работы электроприемников на таких предприятиях, но и к полной остановке

всего технологического процесса. Например, в прядильных цехах текстильных комбинатов, при остановке прядильного станка, для полного восстановления его работы требуется до трех часов, что приводит к большому народнохозяйственному ущербу.

Имеется большое количество работ, посвященных регулированию напряжения при помощи трансформаторов и автотрансформаторов за счет изменения коэффициента трансформации. Однако переключения ответвлений обмоток трансформаторов происходят за счет электромеханических контактов, что уменьшает их быстродействие.

Устройства, которые могли бы компенсировать провалы напряжения в питающей сети, должны отвечать следующим требованиям: быстродействие и чувствительность к изменениям величины напряжения на входе данного устройства.

К таким устройствам можно отнести вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) с бесконтактным переключением вторичных обмоток. Исполнительным органом, переключающим вторичные обмотки ВДТ, которое отвечает вышеизложенным требованиям является бесконтактное реле напряжения, разработанное на кафедре «Электроснабжения» ТГТУ, схема которого показана на рис.1.

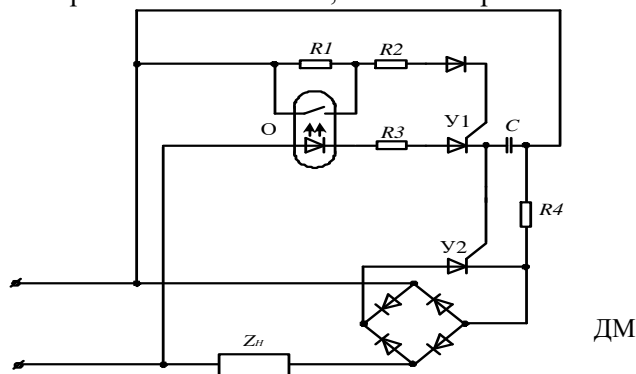


Рис. 1. Схема бесконтактного реле напряжения

Рассмотренное реле состоит из четырех резисторов R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , одного маломощного тиристора U_1 , емкости C , оптореле с нормально открытым контактом O , силового тиристора U_2 и силового диодного моста ДМ. Причем силовой тиристор U_2 включен в диагональ силового диодного моста ДМ. Данное реле работает на принципе триггерного включения маломощного тиристора U_1 . При определенном значении входного напряжения сигнал, протекающий по резисторам, R_2 и D_1 , будет достаточен для открытия маломощного тиристора U_1 , который открывается скачком; по его цепи протекает постоянный ток, запуская в работу светодиод оптореле O , которое замыкает свой нормально разомкнутый контакт и шунтирует резистор R_1 , тем самым уменьшая падение напряжения в цепи R_1 , R_2 и D_1 , одновременно заряжая конденсатор C , от клемм которого подается сигнал управления на силовой тиристор U_2 .

Таким образом, на управляющий электрод тиристора U_2 постоянно подается управляющий положительный сигнал, имеющую пилообразную форму, что приводит к постоянному открытому состоянию тиристора U_2 . Так как силовой

тиристор U_2 подключен в диагональ силового диодного моста ДМ, то по нагрузке Z_H будет протекать переменный ток, по форме совпадающий с током источника питания. Величину напряжения, при котором работает реле, настраивают регулированием резистора R_2 .

Путём использования бесконтактных реле напряжения собрана система управления ВДТ, обеспечивающим номинальное напряжение на нагрузке, при уменьшении напряжения в питающей сети (рис.2).

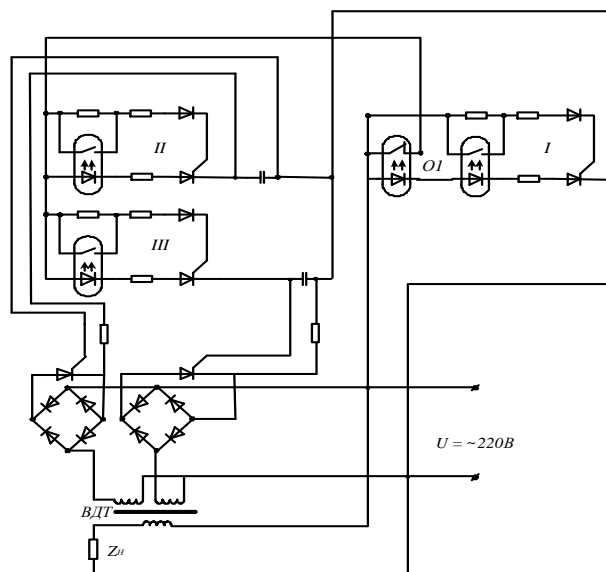


Рис.2. Устройство, компенсирующее «провалы» напряжения у потребителя электрической энергии

Данное устройство состоит из трех бесконтактных реле напряжения I, II, III и одного оптореле O1, имеющее нормально закрытый контакт. При этом, необходимо отметить, что бесконтактное реле напряжения I не имеет силового тиристора и силового диодного моста. Однако он снабжен дополнительным оптореле O1, включенным в цепь своего маломощного тиристора, а его нормально закрытый контакт находится в цепи питания бесконтактных реле напряжения I, II.

Устройство работает следующим образом: при номинальном напряжении сети срабатывает реле напряжения I, размыкая нормально замкнутым контактом оптореле O1 и цепь питания реле напряжений II, III. Уменьшение напряжение в сети до U_1 приведет к включению реле напряжения II. Которое соединит первую подмагничивающую обмотку ВДТ, при достижении напряжения значения U_2 срабатывает реле напряжения III и включается вся подмагничивающая обмотка ВДТ. Отметим, что $U_1 > U_2$.

Таким образом, при помощи данного устройства можно поддерживать напряжение нагрузки стабильным.

Предложенная схема на рис.2 устанавливается на выходе фидера от ТП-6-10/0,4 кВ. Принцип работы идентичен работы ПБВ. Однако это устройство ав-

томатически может увеличивать напряжение на выходе фидера на +2 x 2,5%, в зависимости от изменения напряжения на выходе ТП. Необходимо также отметить, что это устройство не чувствительно к малым изменениям напряжения на магистральной линии 0,4 кВ.

Литература

1. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Божко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях – М. 1981.
2. R.Ch.Karimov. Research of the stabilizer of current taking into account the highest harmonicas in systems of power supply // Scientific journal «European Science review», ISSN: 2310-5577, Vienna (Austria). September-October. №9-10. – PP.144-146 (2015).
3. R.Ch.Karimov, M.K.Bobojanov, A.N.Rasulov, E.G.Usmanov. Controlled switching circuits based on non-linear resistive elements // E3S Web of Conferences 139, 01039 (2019), doi.org/10.1051/e3sconf/201913901039.
4. E.G.Usmanov, A.N.Rasulov, M.K.Bobojanov, R.Ch.Karimov. Non-contact voltage relay for switching windings of a boost transformer // E3S Web of Conferences 139, 01079 (2019), doi.org/10.1051/e3sconf/201913901079.
5. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Нелинейная динамическая цепь с тиристором // Проблемы информатики и энергетики. - Ташкент, № 2-3. – С.37-41 (2006).
6. Bobojanov M.K., Usmanov E.G., Abduraimov E.H., Karimov R.Ch. Resistive time delay switches // Scientific journal «European Science Review» (ISSN: 2310-5577). Vienna (Austria), January–February. - №1-2. – PP.210-212 (2018).
7. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Использование бесконтактных реле для улучшения качества электроэнергии // Вестник ТашГТУ, (ISSN: 1684-789X). Ташкент, 2012, №3-4. – С.48-51.
8. Rasulov A.N., Karimov R.Ch. The Contactless Relay of Tension in System of Power Supply // Scientific journal «Eastern European», ISSN: 2199-7977. Germany, №4. – PP.174-178 (2015). DOI 10.12851/EESJ201508C05ART01.
9. A.N.Rasulov, R.Ch.Karimov. The Contactless Thyristor Device for Inclusion and Shutdown of Condenser Installations in System of Power Supply // Scientific journal «Eastern European», ISSN: 2199-7977. Germany, №4. – PP.179-183 (2015). DOI 10.12851/EESJ201508C05ART02.
10. <http://www.kgau.ru/distance/2013/et2/007/g11.htm>.
11. [/leg.co.ua/arhiv/podstancii/kachestvo-elektroenergii-na-promyshlennyh-predpriyatiyah-9.html](http://leg.co.ua/arhiv/podstancii/kachestvo-elektroenergii-na-promyshlennyh-predpriyatiyah-9.html).
12. [/leg.co.ua/arhiv/podstancii/kachestvo-elektroenergii-na-promyshlennyh-predpriyatiyah.html](http://leg.co.ua/arhiv/podstancii/kachestvo-elektroenergii-na-promyshlennyh-predpriyatiyah.html).

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 620. 9: 502. 14: 62.83

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГО - И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО
МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОМОЩЬЮ
МАТЛАБ****К.Т. Тергемес, Ж.С. Шыныбай, А.Н. Бестерекова**

Асинхронные электроприводы с преобразователями энергии представляют собой энерго- и ресурсосберегающие системы. В статье приводится структурная схема многодвигательного асинхронного электропривода с системой «тиристорный преобразователь напряжения - асинхронный двигатель», с обратной связью по суммарной разности скоростей двигателей. Дается структурная схема замкнутого однодвигательного асинхронного электропривода с обратной связью по скорости двигателя. Приводится программа определения устойчивости движения однодвигательного электропривода на алгоритмическом языке Matlab. Приводится передаточная функция замкнутого однодвигательного асинхронного электропривода и корни характеристического уравнения передаточной функции, а также программа определения устойчивости движения многодвигательного асинхронного электропривода и передаточная функция многодвигательного электропривода с корнями характеристического уравнения передаточной функции.

Asynchronous electric drives with energy converters are energy and resource-saving systems. The article presents a block diagram of a multi-motor asynchronous electric drive, with thyristor voltage converter asynchronous motor systems, with feedback of the total speed difference of the motors. A block diagram of a closed single-motor asynchronous electric drive with motor speed feedback is given. A program for determining the stability of motion of a single-motor electric drive in the algorithmic language Matlab is given. The transfer function of a closed single-motor asynchronous electric drive and the roots of the characteristic equation of the transfer function are given. A program for determining the stability of motion of a multi-motor asynchronous electric drive and the transfer function of a multi-motor electric drive with the roots of the characteristic equation of the transfer function is given.

Как известно электроприводы потребляют около 60 % энергии, производимой в мире [1–2]. В связи с этим большое внимание уделяется возможностям энергосбережения средствами электроприводов [3–5]. При этом энергосбережение осуществляется на электродвигателях переменного тока за счет управления преобразователями электрической энергии, такими как тиристорные преобразователи напряжения (ТПН), преобразователи частоты (ПЧ) и т.д. Бурное развитие силовой электроники и микропроцессорной техники позволяет создавать различные системы управления электроприводами, в том числе многодвигательными асинхронными электроприводами (МАЭП).

На рис. 1 приведена структурная схема трехдвигательного асинхронного электропривода с тиристорными преобразователями напряжения, охваченных

обратными связями по разнице угловых рассогласований валов двигателей. По данной схеме можно определить устойчивость движения МАЭП с разными моментами двигателей в среде Simulink – Matlab [6].

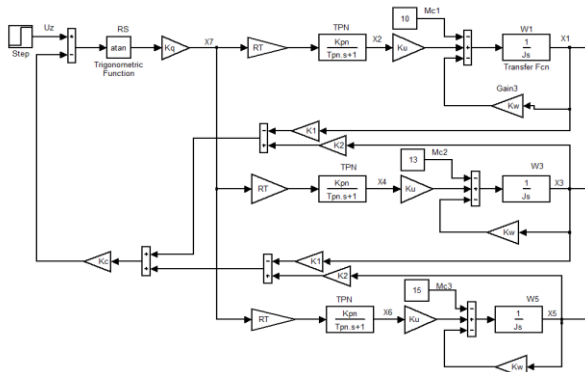


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного МАЭП

На рис.1 показана структурная схема МАЭП с общим регулятором скоростей двигателей RS, регуляторами тока RT и с отрицательной обратной связью суммы разностей скоростей $(x_3 - x_1) + (x_5 - x_3)$. На структурной схеме приняты следующие обозначения: x_1, x_3, x_5 – угловые скорости двигателей, x_2, x_4, x_6 – напряжения на выходе систем ТПН, w_1, w_3, w_5 – передаточные функции двигателей, k_u – коэффициент чувствительности момента асинхронного двигателя (АД), k_w – коэффициент изменения момента двигателя, k_{pn} – коэффициент передачи и T_{pn} – постоянная времени тиристорного преобразователя напряжения, U_z – задающее воздействие.

Устойчивость движения МАЭП существенно зависит от устойчивости каждой замкнутой нелинейной системы ТПН – АД. В связи с этим, прежде всего, определяем устойчивость движения однодвигательного электропривода с замкнутой нелинейной системой ТПН – АД с применением матричной лаборатории Matlab. Структурная схема замкнуто системы электропривода ТПН –АД приведена на рис. 2.

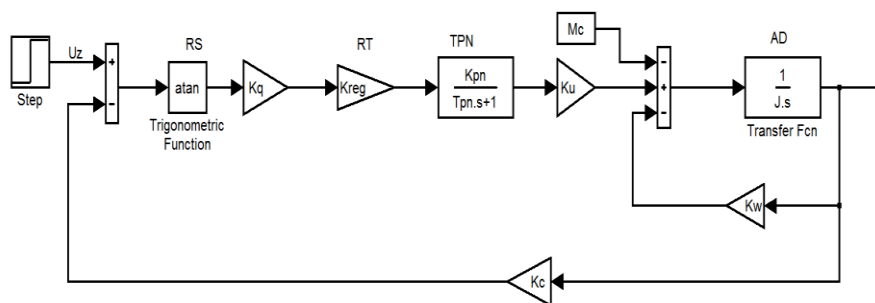


Рис. 2. Структурная схема замкнутая по скорости система ТПН –АД

Для определения устойчивости замкнутой нелинейной системы ТПН – АД математическое описание динамики системы имеет следующий вид:

$$\frac{dx_2}{dt} = ((k_{pn}k_{reg})/T_{pn}) * k_q * \arctg(u_z - k_c x_1) - (1/T_{pn})x_2, \quad (1)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = k_u(dx_2/dt) - k_w(dx_1/dt),$$

где J – момент инерции; x_1, x_2, x_3 – соответственно: скорость АД, напряжение на выходе ТПН и момент АД.

Решение задачи устойчивости замкнутой системы ТПН – АД осуществляется с применением матричной системы Matlab с преобразованием системы уравнений (1) в систему уравнений в символьном виде. Уравнения (1) в символьном виде имеют следующий вид: $(1/w_1 + k_w)x_1 - k_u x_2 - M_c = 0$,

$$(1/w_2)x_2 - k_{reg} \cdot (k_q \cdot a \tan(u_z - k_c x_1)) = 0, \quad (2)$$

$$k_w w_3 x_1 - k_u w_3 x_2 + w_3 x_3 = 0,$$

где w_1, w_2, w_3 – символьные переменные.

Программа устойчивости замкнутой нелинейной системы ТПН – АД, составленная на алгоритмическом языке Matlab [3,4,5] с учетом уравнений в символьном виде (2), приведена на рис. 3.

```

1 function USTOI01
2 syms w1 w2 w3
3 [x1, x2, x3]=...
4 solve(' (1/w1+Ka) *x1-Ku*x2-Mc1=0', ...
5         ' (1/w2) *x2-Ke1*(Kq*sign(atan(u-Kc*x1)))=0', ...
6         ' Ka*w3*x1-Ku*w3*x2+w3*x3=0' );
7 J=2.62; K1=(1/J); Ku=0.6; Ka=5.08; Ke1=5;
8 Kp=120; Tp=0.033; Mc1=30; Kq=1;
9 Kc=0.1; u=10;
10 w1=tf([K1],[1 0]);
11 w2=tf([Kp],[Tp 1]);
12 w=tf([1 0],[0 1])
13 R1=eval(x1);
14 R2=eval(x3);
15 Wp1=minreal(R1)
16 Wp2=minreal(R2);
17 p=pole(Wp1)
18 step(Wp1*(3),'k.-',...
19       Wp2*(2),'b.-',7)
20 grid
21 end

```

Рис. 3. Программа устойчивости замкнутой системы ТПН – АД

Следует отметить, что в процессе счета программы образуется передаточная функция замкнутой системы ТПН – АД ($Wp1$ – 15-ая строка). В 16 – ой строке программы функция Matlab pole вычисляет корни характеристического уравнения передаточной функции $Wp1$. Передаточная функция $Wp1$ и корни характеристического уравнения показаны на рис. 4.

```

Transfer function:
      11.45 s + 4511
-----
s^2 + 32.24 s + 58.76

p =
-30.3030
-1.9389
    
```

Рис. 4. Передаточная функция $Wp1$ и корни характеристического уравнения

Замкнутая система ТПН – АД устойчива, так как корни характеристического уравнения передаточной функции системы получились с отрицательной вещественной частью [6]. Устойчивость системы также подтверждается переходными процессами скорости и момента АД, показанные на рис. 5.

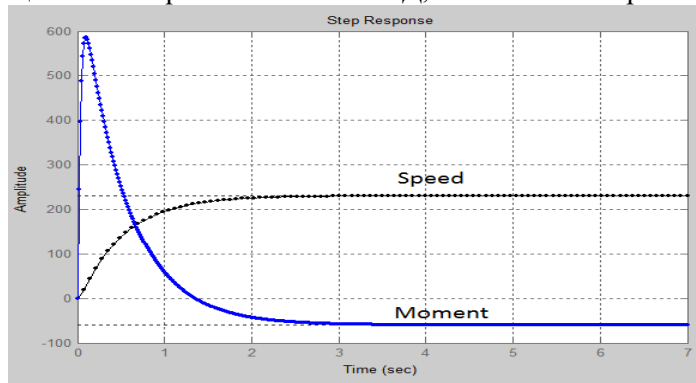


Рис. 5. Переходные процессы АД

Рассмотрим решение задачи устойчивости движения МАЭП считая, что каждая замкнутая система ТРН – АД устойчива. Составим математическое описание переходных процессов скоростей замкнутого МАЭП на основании передаточных функций и связей приведенные на рис.1. Система уравнений динамики МАЭП, с моментом статическим на каждом АД не равным нулю ($M_i \neq 0$), запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{dx_1}{dt} &= k_1 k_u x_2 - k_1 k_\omega x_1 - k_1 M 1_c; & \frac{dx_2}{dt} &= ((k_{TP} k_{e1} / T_{TR}) x_7 - (1 / T_{TR}) x_2); \\
 \frac{dx_3}{dt} &= k_1 k_u x_4 - k_1 k_\omega x_3 - k_1 M 2_c; & \frac{dx_4}{dt} &= ((k_{TP} k_{e2} / T_{TR}) x_7 - (1 / T_{TR}) x_4); \\
 \frac{dx_5}{dt} &= k_1 k_u x_6 - k_1 k_\omega x_5 - k_1 M 3_c; & \frac{dx_6}{dt} &= ((k_{TP} k_{e3} / T_{TR}) x_7 - (1 / T_{TR}) x_6); \\
 & & x_7 &= k_q \arctg(u_z - k_c (b \cdot (x_3 - x_1) + b \cdot (x_5 - x_3)));
 \end{aligned} \quad (3)$$

где x_1, x_3, x_5 – скорости АД, x_2, x_4, x_6 – напряжение на выходе ТПН, x_7 – напряжение на выходе общего регулятора скорости, $a_1 = k_1 k_u$;

$a_2 = k_1 k_2$; $a_3 = (k_p k_e) / T_p$; $a_4 = 1 / T_p$; h – коэффициент передачи датчика скорости.

Для удобства решения задачи устойчивости движения МАЭП в Matlab преобразуем систему уравнения (3) в систему уравнений в символьном виде. После несложных преобразований система уравнений (3) запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} (1/w_1 + k_1)x_1 - k_1 k_u x_2 + k_1 M_{c1} &= 0; \\ (1/w_2 + (1/T_{TP}))x_2 - ((k_{TP} \cdot k_{e1}) / T_{TP})x_7 &= 0; \\ (1/w_1 + k_1)x_3 - k_1 k_u x_4 + k_1 M_{c2} &= 0; \\ (1/w_2 + (1/T_{TP}))x_4 - ((k_{TP} \cdot k_{e2}) / T_{TP})x_7 &= 0; \\ (1/w_1 + k_1)x_5 - k_1 k_u x_6 + k_1 M_{c3} &= 0; \\ (1/w_2 + (1/T_{TP}))x_6 - ((k_{TP} \cdot k_{e3}) / T_{TP})x_7 &= 0; \\ x_7 + k_{oc} x_8 + k_q a \tan(u - k_{oc}(b \cdot (x_3 - x_1) + b \cdot (x_5 - x_3))) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Программа определения устойчивости движения МАЭП, с учётом уравнений (4), представлена на рис. 6.

```

1 function UTTER
2 syms w1 w2
3 [x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7]=...
4 solve('(1/w1+a1)*x1-a2*x2+K1*Mc1=0',...
5 '(1/w2+a3)*x2-a4*x7=0',...
6 '(1/w1+a1)*x3-a2*x4+K1*Mc2=0',...
7 '(1/w2+a3)*x4-a5*x7=0',...
8 '(1/w1+a1)*x5-a2*x6+K1*Mc3=0',...
9 '(1/w2+a3)*x6-a6*x7=0',...
10 'x7-Kq*sign(atan(u-Kc*(h*x3-h*x1)-(h*x5-h*x3)))');
11 K1=0.38; Ku=0.6; Ka=5.08; a1=Ka; a2=Ku;
12 Tp=0.033; a3=(1/Tp); Kp=120; Ke1=4; Ke2=4; Ke3=4;
13 a4=(Kp*Ke1)/Tp; a5=(Kp*Ke2)/Tp; a6=(Kp*Ke3)/Tp;
14 Kq=2; Kc=0.3; h=0.5; Mc1=10; Mc2=15; Mc3=20; u=20;
15 w1=tf([K1],[1 0]);
16 w2=tf([120],[0.033 1]);
17 R1=eval(x1); R2=eval(x3); R3=eval(x5);
18 Wp1=minreal(R1); Wp2=minreal(R2); Wp3=minreal(R3)
19 p=pole(Wp1)
20 step(Wp1*(1),'k.-', Wp2*(1),'b.-',Wp3*(1),'g.-',5)
21 grid
22 end

```

Рис. 6. Программа устойчивости движения МАЭП

Процедура вычислений по программе заключается в следующем:

1. Во 2-ой строке программы вводятся символьные переменные.
2. С 3-ей по 10-ую строки программы, согласно функции `solve`, осуществляется решение системы уравнений (4) в символьном виде.
3. С 11-ой по 14-ой строки программы вводятся исходные данные (параметры АД и системы управления МАЭП).
4. С 15-ой по 16-ую строки введены передаточные функции АД и ТПН.
5. Передаточная функция МАЭП по переменной x_1 (скорость первого АД) образуется с помощью функции Matlab `eval`. (17-ая строка программы).

6. Функция *pole* предназначена для вычисления корней характеристического уравнения передаточной функции переменной x_1 , по виду знака корней (плюс или минус) определяется устойчивость движения МАЭП.

7. Функция *step* вычисляет переходной процесс переменных x_1, x_3, x_5

Выводы. 1. Математическая система Matlab позволяет решать задачи устойчивости движения многодвигательного асинхронного электропривода с системами ТПН – АД, с различными нагрузками на двигателях.

2. Задача устойчивости движения МАЭП, с применением матричной системы Matlab, может быть успешно решена при преобразовании уравнений динамики МАЭП в уравнения динамики в символьном виде.

3. Программа устойчивости движения МАЭП обеспечивает возможность образовать передаточную функцию по каждой переменной системы уравнений переходных процессов двигателей МАЭП.

Литература

1. Илинский Н.Ф. Основы электропривода: учебное пособие для вузов / Илинский Н.Ф. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2003. – 224 с.

2. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учебное пособие для вузов / И.Я. Браславского. – М.: Академия, 2004. – 248 с.

3. Краснов И. Ю. Методы и средства энергосбережения на промышленных предприятиях: учебное пособие / И. Ю. Краснов, Томский политехнический университет, 2012. – 186 с.

4. Энергосбережение средствами электропривода: Докл. науч. метод. семинара. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 80 с.

5. Козярук А.Е., Васильев Б.Ю. Методы и средства повышения энергоэффективности машин и технологии с асинхронными электроприводами. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетик», 2015. Т.15. -№1. -С.47–53.

6. Джендубаев А-З.Р., Алиев И.И. MATLAB, Simulink и SimPomwerSystems в электроэнергетике: учебное пособие для студентов. – Черкесск: БИЦ СевКаз ГГТА, 2014. – 136 с.

7. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.

8. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988. – 256 с.

9. Половко А.М., Бутусов П. Н. MATLAB для студента. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 320 с.

10. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.ИТ Пресс, 2006. – 464 с.

*Представлено Алматинским университетом
энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
Республика Казахстан*

УДК 313.3.045.001.2

**ВЕНТИЛЯЦИЯ ТИЗИМЛАРИДАГИ АСИНХРОН МОТОРЛАРГА
ҚУТБЛАР СОНИ ЎЗГАРУВЧАН ЧУЛҒАМНИ ТАДБИҚ ҚИЛИШ****М.Қ. Бобожанов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тўйчиев, Ҳ.Ғ. Магдиев**

Мақолада кўп тезликли моторлардан фойдаланиши орқали паррандачилик хўжаликларини микроклимини таъминлаш масалалари, шунингдек, қутблар сони ўзгарувчан чулғамларни яратиши муаммолари кўриб чиқилган. Кўшимча шахобчали YYY/YYY узиб-улаш базавий схема асосида статор пазлари 36 ва қутблар нисбати 3/4 бўлган икки қатламли уч фазали қутблар сони ўзгарувчан чулғамни қуриши тартиби тақдим этилган. Электромагнит хусусиятларни таҳлил қилиши натижаларига кўра оптимал чулғам қадами танланган. Ушбу чулғамни 4A80A6/8UZ типидagi асинхрон моторга тадбиқ қилиб ANSYS/Maxwell дастури ёрдамида қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли асинхрон моторнинг ҳар иккала қутблари учун ишчи характеристикалари кўрсатилган.

В статье рассматриваются вопросы обеспечения микроклимата птицефабрик с помощью вентиляторов, оснащенных многоскоростными двигателями, а также проблемы создания полюсопереключаемых обмоток. Представлен порядок построения новой двухслойной трехфазной полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 3/4, выполненная в 36 пазах статора на основе базовой схемы переключения дополнительной ветви YYY/YYY. По результатам анализа электромагнитных свойств выбран оптимальный шаг обмотки. Применяя эту обмотку к асинхронному двигателю типа 4A80A6/8UZ, с помощью программы ANSYS/Maxwell показаны рабочие характеристики для двух полюсов нового двухскоростного асинхронного двигателя с новой полюсопереключаемой обмотки.

The article deals with the issues of providing a microclimate for poultry farms with the help of multi-speed motors, as well as the problems of creating pole-switched windings. The procedure for constructing a new two-layer three-phase pole-switching winding with a 3/4 pole ratio, made in 36 stator slots based on the basic YYY/YYY additional branch switching circuit, is presented. According to the results of the analysis of electromagnetic properties, the optimal winding pitch was chosen. Applying this winding to a type 4A80A6/8UZ induction motor, ANSYS/Maxwell shows the two-pole performance of a new two-speed induction motor with a new pole-switched winding.

Қириш. Бугунги кунда жаҳонда паррандаларни етиштиришда паррандачилик хўжаликларининг микроклимини таъминлаш долзарб масала сифатида қаралмоқда. Паррандачилик микроклими-бу парранда танасига маълум таъсир кўрсатадиган физик, кимёвий ва биологик омилларнинг бирикмасидан ташкил топган ҳар қандай ёпиқ тизимнинг (паррандачилик хўжаликларининг) иклимидир. Бу омилларнинг асосийлари ҳарорат, намлик,

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ҳавонинг тезлиги ва кимёвий таркиби, чанг ва микроорганизмларнинг контсентратсияси, ёритиш ва бошқаларни ўз ичига олади. Бу омилларнинг комбинатсияси ҳар хил бўлиши ва парранда танасига ижобий ёки салбий таъсир кўрсатиши мумкин. Қуш танасининг ҳаддан ташқари қизиши ёки гипотермия нормал метаболизмни бузади ва барча ҳаётий жараёнларнинг намоён бўлишига салбий таъсир қилади, бу эса ўз навбатида маҳсулдорликнинг сезиларли пасайишига олиб келади.

Йилнинг совуқ ва иссиқ ўтиш давлари учун микроклим параметрлари турлича бўлади.

Паррандачилик хўжалиқларининг микроклимини таҳлил қилиш натижасида етарли ҳаво алмашинуви куйидагиларни кўрсатади. [1],

- қишқи мавсум 0,8–1,0 м³/ч (1 кг тирик вазн учун);
- ўтиш даври 2,4–2,8 м³/ч;
- ёзги мавсум 3,8–4,8 м³/ч.

Бу ҳаво алмашинуви билан паррандаларнинг тухум қўйиш унумдорлиги 11-15% га ошади ва озуқа сарфи 5-8% га камаяди, бундан ташқари қондаги гемоглобин миқдори ўртача 5,4% га, эритроцитлар 3,4% га ошади ва микроклим параметрлари нормасини куйидаги 1-жадвалда келтирилган қийматларда сақлаш энг мақбул йўл ҳисобланади.

Микроклимни яхшилаш харажатлари техник-иқтисодий жихатдан ускуналарнинг хавфсизлигини ошириш ва бошқа омиллар ҳисобидан қопланишига асосланади. Шу асосда ўрнатилган микроклим параметрлари оптимал деб ҳисобланади. Оптимал микроклимни яратиш бир қатор чоратадбирларни назарда тутаяди. Микроклимни яратиш бўйича чоратадбирлар мажмуасида иситиш ва шамоллатиш катта аҳамиятга эга. Шамоллатиш тизимини такомиллаштириш эса вентиляторлани тезлигини ростлаш билан амалга оширилади. Паррандачилик хўжалиқлари вентиляция тизимларида асосан асинхрон моторлар қўлланилади [2].

1-жадвал

Мавсум	Бир бош парранданинг ўртача тирик вазни, гр	1 кг тирик вазнига мос ҳаво алмашинуви, м ³ /соат	Температура, °С	Нисбий намлик, %	Карбонаг ангидрид миқдори, %	Бир бош учун озуқа истимоли, г	Бир бош учун сув истимоли, г	Тухум қўйиш, %
Қиш	1580	0,8	16,3	70	0,197	196	196,6	40
		1,0	14,5	63	0,181	179	179,1	60
		1,2	14,1	55	0,174	177	177,3	20
Ўтиш даври	1580	2,4	16,1	70	0,198	91	91,1	40
		2,6	14,6	66	0,189	180	180,2	80
		2,8	14,2	62	0,176	176	176,3	60
Ёз	1580	3,8	25,0	55	0,216	200	200,1	40
		4,0	22,4	62	0,200	211	211,6	60
		4,2	20,5	70	0,195	197	197,2	60

Жаҳон амалиётида асинхрон моторларни тезлигини ростлашнинг бир нечта усуллари мавжуд, буларга асинхрон вентилли каскад, тиристорли частота ўзгартгич, шунингдек икки тезликли асинхрон моторлар кенг қўлланилади [3].

Статорда кутблар сони ўзгарувчан чулғам мавжуд бўлган асинхрон моторларга асосланган кўп тезликли электр юритмаларда бериладиган энергияни қўшимча ўзгартиришга тўғри келмайди ва сирпанишга қўшимча исрофларни сарфланмайдиган ягона ростлаш усулидир, бунинг натижасида уларнинг фойдали иш коэффициенти юқори бўлиши мумкин [4, 5, 6].

Кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини яратишнинг энг кенг тарқалган усули Х.Ғ.Каримов томонидан яратилган. Чулғам схемасини қуриш жараёнини соддалаштириш учун тоқлар тақсимланишини ўз ичига олган дискрет берилган фазовий функция (ДБФФ) кўринишидаги янги усул киритилган бўлиб қисқача ДБФФ усули деб номланади [7, 8, 9].

Бошқа усуллардан фаркли равишда, ушбу метод янги принципга асосланган бўлиб, бунда кутблар ($2p_1$) ва $2p_2$) ва фазалар (m_1 ва m_2) сони берилган иккита икки қатламли нормал ишланган чулғам олинади ва икки тезликли чулғам лойихалаш жараёнида бир вақтда қўлланилади [10, 11, 12, 13].

ДБФФ методи ёрдамида m - m -зонали чулғам схемасини ишлаб чиқиш. Энг кенг тарқалган нисбат бу кутблар сони $3/4$ нисбатли, чунки бу нисбатга эга бўлган икки тезликли машиналардан турбомеханизмлар ва бошқа қурилмалар юритмаларида фойдаланиш мумкин [14]. Мисол тариқасида, ДБФФ усули ёрдамида 36 та пазда қўшимча шахобчали кутблар сони ўзгарувчан чулғам қурилишини кўриб чиқамиз. Дастлабки чулғам учун биз $p_1=3$ ва $p_2=4$ жуфтлари рақамлари билан 36 та пазга жойлаштирилган иккита икки қаватли m -зона статор чулғамларини олаемиз.

Ғалтак гуруҳларини бирлаштириш "УУУ/УУУ" (БС) схемасига мувофиқ амалга оширилади. Ҳар бир ўрашнинг пастки қаторини, бир-бирининг остига фазанинг номи билан битта ва бошқа ўраш билан жойлаштириб, у ёки бу чулғам рақамига мос келадиган филиални аниқлаш мумкин (2-жадвал).

2-жадвал

Қўшимча шахобчали иккита чулғам қуйи қатламларини ДБФФни бирлаштириш

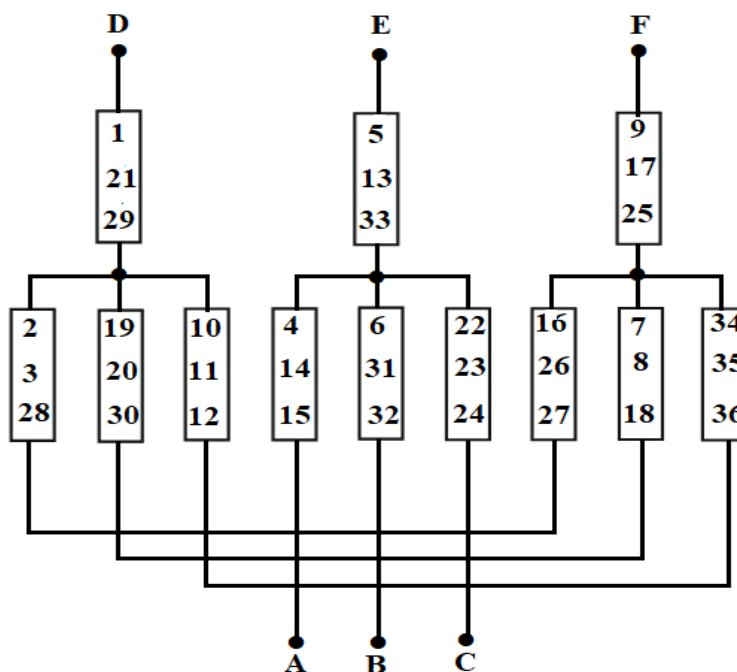
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	кутб
x	d	d	d	x	e	e	e	x	f	f	f	x	d	d	d	x	e	e	e	x	f	f	f	x	d	d	d	x	e	e	e	x	f	f	f	p=3
a	a	a	b	b	b	c	c	c	a	a	a	b	b	b	c	c	c	a	a	a	b	b	b	c	c	c	a	a	a	b	b	b	c	c	c	p=4

Олинган ДБФФ га мувофиқ фазаларни бирлаштириш жадвали ёрдамида (4-жадвал) ғалтакларни шахобча бўйлаб тақсимланиш жадвалини олиш ва кутблари ўзгарувчан чулғам уланиш схемасини тузиш мумкин. "УУУ/УУУ" узиб-улаш схемасини қуйидаги тармоқларга ажратиш мумкин (1-расм): биринчи фаза учун А-Д, А-Е, А-Ғ ва қўшимча шахобча A_k , иккинчи фаза учун В-Д, В-Е, В-Ғ ва қўшимча шахобча B_k , учинчи фаза учун С-Д, С-Е, С-Ғ ва қўшимча шахобча C_k . 3-жадвалда "УУУ/УУУ" узиб-улаш схемасининг шахобчалари бўйлаб кутблари сони ўзгарувчан чулғам ғалтаклари тақсимланиши ҳолати кўрсатилган.

Ғалтакларнинг гуруҳланиши

№	“Кўшимча шахобчали YYY/YYY” базавий схема шахобчалари											
	A-D	A-E	A-F	A _к	B-D	B-E	B-F	B _к	C-D	C-E	C-F	C _к
2	19	10	1	4	6	22	5	16	7	34	9	
3	20	11	21	14	31	23	13	26	8	35	17	
28	30	12	29	15	32	24	33	27	18	36	25	

Олинган чулғам иккала қутб томони учун ҳам таъминлаш манбасига нисбатан мутлақо симметрик бўлиб, ҳар бир фазанинг бир хил номли шахобчаларининг ЭЮК векторлари бир-бири билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича тенг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган, [15] чулғам қадами $u=5$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ қутбли томон учун чулғам коэффициенти мос равишда $k_{чул1}=0,876$ ва $k_{чул2}=0,831$ тенг бўлади.



1-расм. Статор пазлар сони 36 ва қутблар нисбати 3/4 бўлган “кўшимча шахобчали YYY/YYY” чулғам электр схемаси

Иккита қутб учун ҳар бир шахобча чулғам коэффицентларини 4- ва 5-жадвалда кўриш мумкин.

	“Кўшимча шахобчали YYY/YYY” базавий схема шахобчалари, $p_1=3$								
	D-A	D-B	D-C	E-A	E-B	E-C	F-A	F-B	F-C
A	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26
$k_{чул1}$	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876
ϕ	195	195	195	315	315	315	75	75	75

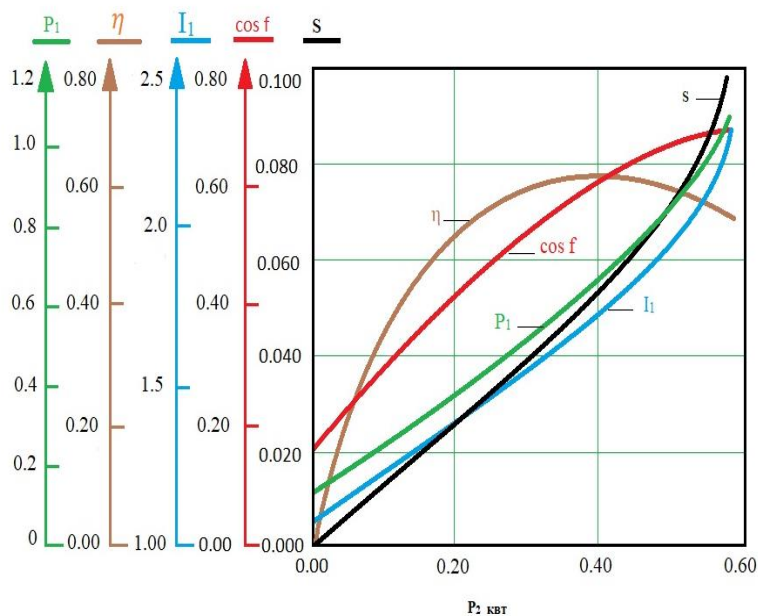
5-жадвал

	“Кўшимча шахобчали YYY/YYY” базавий схема шахобчалари, $p_2=4$								
	A-D	A-E	A-F	B-D	B-E	B-F	C-D	C-E	C-F
A	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64	6.64
$k_{\text{чўл2}}$	0.831	0.831	0.831	0.831	0.831	0.831	0.831	0.831	0.831
φ	50	50	50	170	170	170	290	290	290

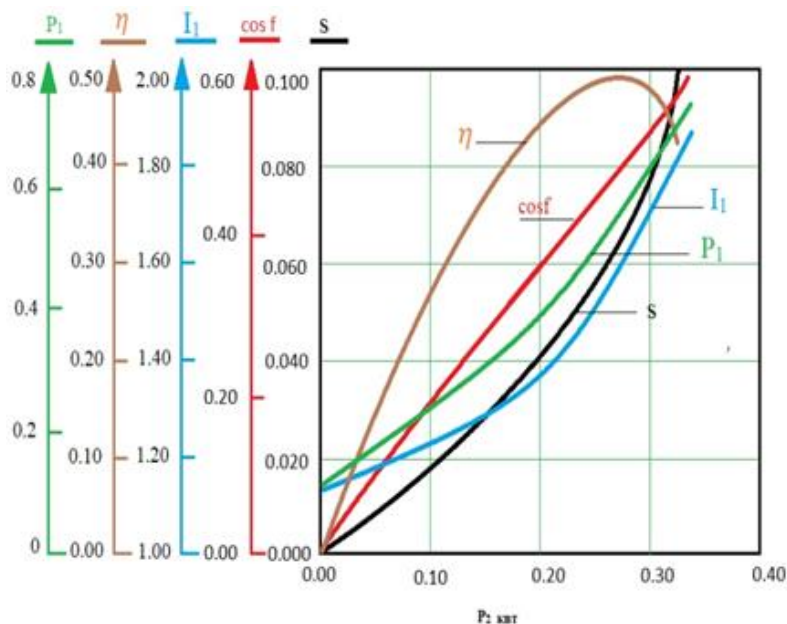
Ушбу 3/4 нисбатили кутблари сони ўзгарувчан чўлгамни 4A80A6/8УЗ типидagi статор пазлари $Z_1 = 36$ ва ротор пазлари $Z_2 = 28$, шунингдек статор пакети узунлиги $l_s = 78$ мм бўлган асинхрон двигателга қўллаш оркали куйидаги илмий тадқиқот натижаларига эришилди.

Икки тезликли 4A80A6/8УЗ типидagi асинхрон двигателни ANSYS/Maxwell дастури ёрдамида олинган натижалари шунини кўрсатдики, жуфт кутблар $p_1=3$ томонида фойдали қувват $P_2=0,51$ кВт, $\eta=63\%$, $\cos\varphi=0,65$, $I_1=1,9$ А ва сирпаниш $s=4,2\%$, қийматга эришади. Жуфт кутблар $p_1=4$ томонида эса фойдали қувват $P_2=0,3$ кВт, $\eta=50\%$, $\cos\varphi=0,54$, $I_1=1,65$ А ва сирпаниш $s=4,8\%$ ни ташкил қилади.

YYY/YYY узиб-улаш базавий схема асосида статор пазлари сони 36 ва кутблар нисбати 3/4 бўлган янги икки қатламли уч фазали кутблар сони ўзгарувчан чулгамни 4A80A6/8УЗ типидagi асинхрон моторга тадбиқ қилиб ANSYS/Maxwell дастури ёрдамида янги кутблар сони ўзгарувчан чулгамли икки тезликли асинхрон моторнинг иккита кутблари учун ишчи характеристикалари олинди (2-ва 3- расмлар).



2-расм. 4A80A6/8УЗ типидagi икки тезликли асинхрон моторнинг $p_1=3$ томон учун ишчи характеристикалари



3-расм. 4A80A6/8УЗ типигади икки тезликли асинхрон моторнинг $p_1=4$ томон учун ишчи характеристикалари

Юқорида келтирилган экспериментал тадқиқотлар натижалари таҳлили асосида шундай хулосага келиш мумкинки, янги турдаги кутблар сони ўзгарувчан чулғам асосидаги икки тезликли мотор паррандачилик хўжаликларига микроклимни таъминлашда асосий вазифани бажарувчи вентиляторларда мавжуд бўлган бир тезликли моторлар ўрнига жорий қилиш имконини беради.

Адабиёт

1. Марков Ю.М. Влияние различных концентраций вредных газов на организм птицы./Ю.М.Марков, Л.И.Нестерова, С.А.Заика, А.Г.Королев //Ветеринария.-1986.-№61.-С. 63-65.
2. Прокопенко А.А. Санитарно-гигиеническая оценка воздуха в помещениях для содержания курнесушек и ремонтного молодняка птиц яичных пород/А.А. Прокопенко//Сб. науч. тр./ Всерос. НИИ вет. санитарии, гигиены и экологии. -1997, б.- Т.103. - С. 64-69.
3. Девогченко Ф.С. Замена обмотки трехфазных электродвигателей. Справочное пособие. -Краснодар: Советская Кубань, 1991. - 208 с.
4. Ванурин В.Н. Статорные обмотки асинхронных электрических машин: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп.- СПб.:Издательство Лань. Часть 1. 2016. - 224 с.: ил. ISBN 978-5-8114-1769-8.
5. H. Auinger. Polumschaltbare Dreiphasenwicklung mit 6 Klemmen Übersicht zum Stand der Technik. Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, vol. 69, no. 17, pp. 926-932, 1978.

6. J.H.H.Alwash; K.S.Ismail; J.F.Eastham. A novel 16/6 phase modulated winding. IEEE Transactions on Energy Conversion (Vol. 15, Iss.2, Jun 2000), pp 188 – 190. DOI: 10.1109/60.866998.

7. Каримов Х.Г., Тупогуз Ю.А. Метод построения электрически совмещенных обмоток переменного тока//Электричество.–Москва, 1987. -№9–С.29-38.

8. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Новые полюсопереключаемые обмотки для асинхронных двигателей механизмов с напряженным режимом работы// Электричество. -1996. - №1 – С. 27-32.

9. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Методы построения обмоток для многоскоростных электрических машин. – Ташкент: Издательство «Fan va technology», 2010. - 170 с.

10. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми, обмотками, используемые в целях энерго- и-ресурсосбережения. /Под редакцией проф.Х.Г.Каримова. – Ташкент: Фан ва технологиялар марказининг босмахонаси, 2012. - 179 с.

11. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н. Построение и анализ полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 5/6 методом ДЗПФ. //Вестник ТашГТУ, 2016 г. №3-4, -С.138-143.

12. Рисмухамедов Д.А. Полюсопереключаемые асинхронные двигатели для турбомеханизмов. / Дисс. канд.техн. наук -Ташкент, 2006. -225 с.

13. Попов Д.А., Попов С.Д. Критерии оценки полюсопереключаемых статорных обмоток трехфазных многоскоростных асинхронных двигателей // Электричество. - 1997. - № 9. – С. 44-52.

14. Попов В.И. Оценка электромагнитных свойств трех- и двухфазных обмоток электрических машин переменного тока // Электротехника. - 2001. - № 10. – С. 9-17.

15. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Методика построения и анализ электромагнитных свойств полюсопереключаемой обмотки. //Вестник ТашГТУ, 2004 г, №3.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311.1

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В СОВОКУПНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров

Электр тармоқлари корхонаси (алохида ТП) бўйича электр энергияси йўқотишларини ҳисоблашда муҳим масалалардан бири бу юқори қийматли йўқотишларга эга фидерларни аниқлашдир. Мақолада сунъий нейрон тармоқларига асосланган, турли фидерлардаги электр энергия йўқотишларини баҳолаш моделлари кўриб чиқилган. Ундан ташқари юқори қийматли йўқотишларга эга фидерларни аниқлаш тартиби келтирилган. Моделлардан фойдаланиш электр энергия йўқотишларини тезкор тарзда баҳолаш имконини беради. Ҳисоб-китобларни бажаришда мавжуд бўлган 6-10 кВли фидер схемалари қўлланилган.

При выполнении расчётов потерь электроэнергии в целом по предприятию электрических сетей очень важным является определение фидеров с повышенными потерями. В статье представлены модели оценки потерь электроэнергии в ряде отходящих фидеров на основе искусственных нейронных сетей. Также представлен подход по определению фидеров с повышенными потерями. Использование моделей позволяет повысить скорость выполняемых расчетов. Необходимые расчёты выполнены на примере реальных схем фидеров 6-10 кВ.

When performing calculations of electricity losses in general for an electric grid company (individual TP), it is very important to determine feeders with increased losses. The article presents models for estimating power losses in a number of outgoing feeders based on artificial neural networks. An approach for determining feeders with increased losses is also presented. The use of models makes it possible to increase the speed of calculations performed. The necessary calculations are performed on the example of real schemes of feeders of 6-10 kV.

Введение. Величина потерь электроэнергии (ЭЭ) является одним из наиболее важных показателей для оценки эффективности и экономичности эксплуатации предприятий электрических сетей (ЭС). Задача определения и снижения потерь электроэнергии в ЭС является чрезвычайно актуальной и экономически важной проблемой [1]. При этом немаловажным является своевременное определение отдельных фидеров (участков) с повышенными потерями ЭЭ.

Задача расчёта потерь ЭЭ в условиях работы автоматизированных информационно-измерительных систем предполагают оценку потерь ЭЭ в темпе процесса [2]. В данной ситуации, несмотря на многообразие существующих методов расчёта потерь ЭЭ, их применение весьма затруднительно. Традиционные методы расчета потерь ЭЭ основываются на серии установившихся режимов по схемным и режимным параметрам сети. Эти

расчеты связаны с большой размерностью, информационными проблемами и временем расчета.

При этом, как показывают исследования [3], значительно лучшие решения, по сравнению с традиционными методиками, можно получить применением «интеллектуальных» методов, к которым относятся искусственные нейронные сети (ИНС) [4]. В настоящее время ИНС широко используются для различных задач электроэнергетики, в частности, для анализа потерь ЭЭ [5], для расчёта установившихся режимов [6], прогнозирования электрической нагрузки и потерь [7], и др.

Поэтому цель данной статьи заключается в разработке ИНС для оценки потерь электроэнергии на отдельных фидерах, их обобщении и определении отдельных фидеров с повышенными потерями ЭЭ.

Оценка технических потерь электроэнергии на основе искусственных нейронных сетей. Для оценки технических потерь электроэнергии в распределительных сетях, рассмотрены четыре разных типа ИНС, к которым относятся: перцептрон (fit net), каскадные сети (cascade-forward net), сети МГУА (GMDH - group method of data handling NN), нейро-нечёткие сети (ANFIS - adaptive neuro-fuzzy inference system).

Первые два типа ИНС - это более простые сети прямого распространения с одним скрытым слоем. Первый тип — наиболее простая разновидность ИНС прямого распространения, а второй тип - это каскадная ИНС, главной особенностью которой является наличие связи каждого следующего слоя со всеми предыдущими.

Следующие два типа - это гибридные нейронные сети, в которых интегрированы принципы ИНС с другими средствами моделирования, совмещая их преимущества в одной структуре. В работе используются нейронная сеть МГУА, а также нейро-нечёткая сеть.

Процесс моделирования включает следующие шаги:

1. Формирование статистических данных.
2. Разбивка данных на выборки.
3. Выбор архитектуры и параметров ИНС.
4. Обучение ИНС на основе данных обучающей выборки.
5. Оценка адекватности ИНС на тестовой выборке.
6. Формирование данных контрольной выборки.
7. Выбор лучшей модели ИНС по данным контрольной выборки.

В данном алгоритме 3,4 и 5 шаги выполняются для каждого из указанных типов ИНС. В результате выполнения данного алгоритма определяется лучшая модель оценки технических потерь ЭЭ.

В качестве примера рассматривается схема фидера с 9 ветвями и 4 нагрузками (рис.1). Расчётный период для оценки потерь ЭЭ составляет месяц $T_{cal.p.}=744$ часа.

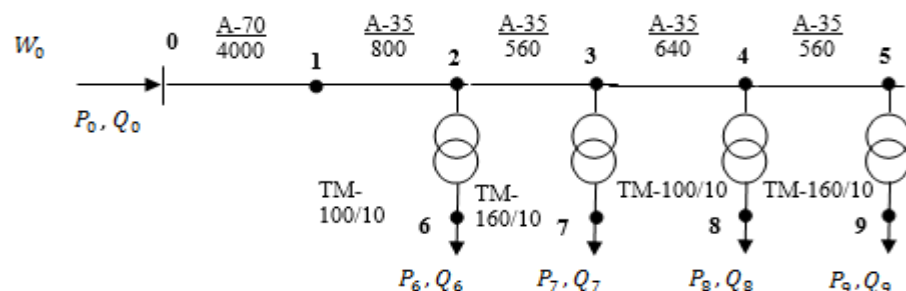


Рис.1. Оперативная схема распределительной сети 10 кВ

Для данного фидера по методике было выполнено 1000 расчётов, и сформирована база статистических данных «входы-выход» где входные данные - это напряжение головного узла, отпуск электроэнергии, наружная температура, квадрат коэффициента формы и мощности нагрузок $(W_0, U_0, t, k_f^2, P_6, Q_6, P_7, Q_7, P_8, Q_8, P_9, Q_9)$, а выход - значения потерь электроэнергии $(\Delta W_{PC}, \text{тыс. кВт} \cdot \text{ч})$.

Данные разбиваются на обучающую (70 %), и тестовую (30 %) выборки. В дополнении также формируется контрольная выборка, которая включает другие 100 пар данных «входы-выходы».

Далее для каждого типа ИНС определены параметры по их архитектуре (глубина, ширина, тип слоев, количество нейронов).

Для сетей прямого распространения наилучшие результаты дали модели с одним скрытым слоем, состоящим из 8 нейронов. В качестве активационной функции используется гиперболический тангенс. Обучение нейронных сетей выполняется методом Левенберга–Марквардта.

В отличие от традиционных ИНС с фиксированной архитектурой МГУА – сети имеют переменную структуру, которая изменяется в процессе обучения. В процессе обучения предварительно формируется первый скрытый слой, где нейроны обучаются параллельно и независимо друг от друга. Затем применяется процедура сокращения путем «замораживания» наименее точных нейронов. По наиболее эффективным нейронам формируется дополнительный скрытый слой и повторяется процесс обучения. Процесс наращивания слоев продолжается до тех пор, пока в последующем слое не останется единственный нейрон.

Лучшие результаты для МГУА – сети получены при следующих исходных данных: количество слоев - 6 и количество нейронов в слоях - 25.

ANFIS реализует нечёткую систему Такаги – Сугено и представляет собой пятислойную ИНС прямого распространения. Первый слой определяет функции принадлежности. Второй слой описывает базу правил. Третий слой вычисляет нормированную силу правил. В нейронах четвертого слоя формируются значения выходных переменных. И наконец, в пятом слое получаем выходной результат.

Формирование нейро-нечёткой сети выполняется в два этапа. На первом этапе формируется ИНС с нечёткими правилами полученные кластеризацией по

методу нечётких К-средних. На втором этапе выполняется ANFIS-обучение сети методом обратного распространения.

Для определения качества полученных моделей используются все выборки (обучающая, тестовая и контрольная выборки). В качестве критерия для оценки моделей используем коэффициент детерминации, R^2 (табл.1):

$$R^2 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{mod,i})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(Y_i - \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} \right)^2}; \quad (1)$$

где Y_i – фактическое значение технических потерь электроэнергии рассчитанное по методу средних нагрузок; $Y_{mod,i}$ – значение технических потерь электроэнергии, полученное по модели ИНС.

Таблица 1

Коэффициент детерминации и время расчёта

Выборки / расч.время	Тип модели			
	CFNN	FNN	GMDH	ANFIS
Обучающая	0,99991473	0,99999997	0,95991728	0,99866172
Тестовая	0,99954990	0,99999984	0,78841407	0,99293561
Контрольная	0,69840612	0,99980014	-3,44887361	0,32374837
Расч.время, сек	2,64	4,18	2,49	34,22

Как видно по результатам наилучшей моделью для оценки потерь электроэнергии является перцептрон. Результаты оценок для данной сети представлены на рис.2.

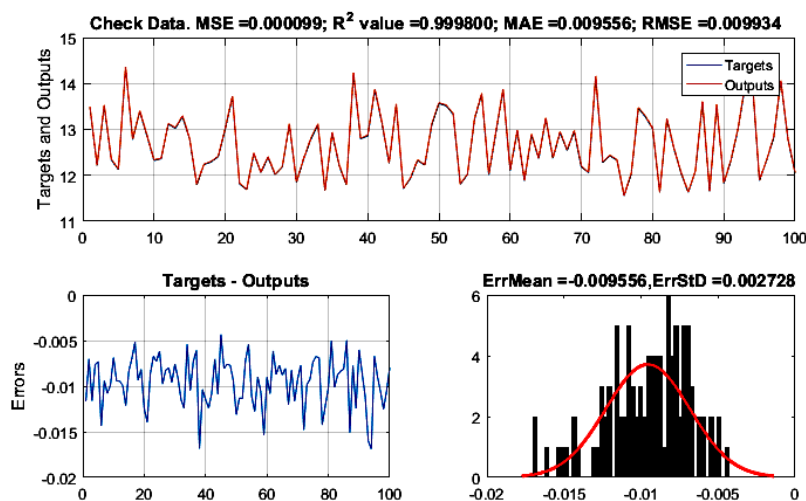


Рис.2. Результаты оценок на контрольной выборке (по fit net)

По данному алгоритму были получены ИНС для других схем фидеров 6-10 кВ. В табл.2 представлены результаты оценок на контрольной выборке.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Для определения отдельных фидеров с повышенными потерями ЭЭ необходимым является определение величины потерь электроэнергии относительно отпущенной электроэнергии по головному узлу:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W}{W_0} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Таблица 2

Результаты оценок на контрольной выборке

№	Данные по схеме РС	W0,		
		ΔW		
	Единицы изм.	МВт*ч	МВт*ч	%
1	3 ветви 1 нагрузка	151,649	7,037	4,6
		158,084	6,689	4,2
		154,927	6,173	4,0
2	6 ветвей 2 нагрузки	213,965	13,156	6,1
		207,705	14,309	6,9
		196,355	12,460	6,3
3	27 ветвей 11 нагрузок	582,186	37,585	6,5
		552,532	30,135	5,5
		611,279	34,864	5,7
4	43 ветвей 16 нагрузок	881,587	72,445	8,2
		892,990	82,202	9,2
		872,666	78,364	9,0

Заключение. Применение искусственных нейронных сетей для оценки технических потерь электроэнергии в распределительных сетях является достойной альтернативой традиционным методам расчета.

По сравнению с классическими методами, для расчета технических потерь электроэнергии уже обученной ИНС, требуются незначительные вычислительные и временные ресурсы, что является весьма важным при выполнении оперативных расчётов.

Из рассмотренных четырёх типов ИНС прямого распространения, по результатам проверок на контрольной выборке, для оценки технических потерь электроэнергии лучшие результаты даёт сеть для подбора кривой fitnet с одним скрытым слоем состоящий из 8 нейронов со средней квадратической ошибкой MSE – 0,000099 МВт*ч и коэффициентом детерминации R2 - 0,9998).

Как показали результаты расчётов, погрешность расчета очень маленькая в сетях с меньшим количеством ветвей и нагрузок, а в более сложных сетях с большим количеством ветвей и нагрузок она немного увеличивается, но при этом сравнительно маленькая, что свидетельствует об удачно обученной и правильно сформированной ИНС.

Литература

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

2. L. M. O. Queiroz, M. A. Roselli, C. Cavellucci and C. Lyra. (2012) Energy Losses Estimation in Power Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Systems, 27, 4, 1879-1887.
3. Насиров Т.Х., Васильев В.Г. Методы расчёта потерь электрической энергии в сетях энергосистем, - Т.: «Fan va texnologiya», 2016. – 336 с.
4. Заиграева Ю.Б., Манусов В.З. Прогнозирование потерь мощности и электроэнергии с учетом новых реалий в электроэнергетики // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Матер. XIII Всеросс. научноотехн. конф. – Томск: Изд во ТПУ, 2006. – С. 35–37.
5. R. E. Bourguet, P. J. Antsaklis, "Artificial Neural Networks in Electric Power Industry," Technical Report of the ISIS (Interdisciplinary Studies of Intelligent Systems) Group, No. ISIS-94-007, Univ of Notre Dame, April 1994.
6. A. G. Leal, J. A. Jardini, L.C. Magrini and S. Ahm. (2009) Distribution Transformer Losses Evaluation: A New Analytical Methodology an Artificial Neural Network Approach. IEEE Transactions on Power Systems, 24, 705-712.
7. J. A. Velasco, H. Amaris, M. Alonso. Deep learning loss model for large-scale low voltage smart grids. Electrical Power and Energy Systems 121 (2020) 106054. doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106054.
8. Muzaffar Khudayarov, Nuriddin Normamatov. Power system steady state calculations using artificial neural networks. E3S Web of Conferences 216, 01102 (2020), RSES 2020. doi.org/10.1051/e3.
9. J. A. Michline Rupa, S. Ganesh, Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward/Forward Sweep Method, International Scholarly and Scientific Research & Innovation 8(10) 2014, pp.1628-1632, <https://doi.org/10.5281/zenodo.1337731>.
10. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; / под ред. Ю.С. Железко. -М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311.12

**АРГУМЕНТЛАРНИ ГУРУҲИЙ ҲИСОБГА ОЛИШ УСУЛИ ЁРДАМИДА
ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСТЕЪМОЛИ ПРОГНОЗЛАШ МОДЕЛИНИ ИШЛАБ
ЧИҚИШ**

Н.Н. Ниёзов

Моқолада тадқиқот объекти бўлган «Uz Truck & Bus Motors» қўшма корхонасининг электр энергияси истеъмолини аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усули асосида прогноз кўрсаткичлари аниқланади. Бунда дастлабки маълумотлар сифатида тадқиқот объектининг электр энергия истеъмолига тегишли бўлган 2018, 2019, 2020 йиллар учун ҳисобий-экспериментал кўрсаткичлари ва унга таъсир этувчи факторлар асос қилиб олган ҳолда, аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усулининг СОМВИ ҳамда иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоғидан фойдаланилади.

В статье определяются прогнозные показатели совместного предприятия «Uz Truck & Bus Motors» (объект исследования) путём использования метода группового учета аргументов (МГУА). Анализируются расчетно-экспериментальные данные предприятия за 2018, 2019, 2020 годы, связанные с потреблением электроэнергии и факторы, влияющие на энергопотребление; для учета аргументов от исходных данных используются метод СОМВИ и прогнозная многослойная нейронная сеть второго порядка.

In the article, the forecast indicators of the joint enterprise "Uz Truck & Bus Motors", which is the object of research, are determined based on the method of group calculation of arguments. Based on the calculation and experimental indicators of the research object for the years 2018, 2019, 2020 related to the electricity consumption and the factors influencing it, SOMBI and the second-order multilayer neural network are used as the initial data.

Саноат корхоналарининг электр энергияси истеъмоли жараёнини прогноз кўрсаткичларининг ишончилиги ва аниқлигига эришишда аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усули (АГҲОУ) дан кенг фойдаланилади [1,2,3,5]. Бугунги кунда АГҲОУ нинг оптимал мураккабликдаги регрессия моделларини ҳосил қилиш усули маълум бўлиб, параметрлар сони АГҲОУ моделининг мураккаблиги билан аниқланади [4]. Прогноз моделини ишлаб чиқишда моделдан фойдаланилади. Баъзи моделнинг элементлари ишлаб чиқиладиган математик моделга киритилиши керак. Моделларни танлаш учун ташқи мезонлар, яъни моделларни адекватлилигини текшириш давомида ҳисобланган махсус модел кўрсаткичларидан фойдаланиш зарур [2,3,7,6].

АГҲОУ да математик моделни қуришда экспериментал тенгламалар ўқитиш ва текшириш босқичларига бўлинади. Бундай ҳолда ўқитиш модели-прогнозлаш жараёнида оддий регрессия таҳлилида тенглама коэффициентларининг оптималлаш баҳоларини минимал стандарт хатолик мезони ёрдамида аниқлаш учун қўлланиладиган кетма-кетликдир [5].

Қуйидагиларга асосан АГҲОУ алгоритмларни шакллантиришда мос ёзувлар вазифалари сифатида ишлатилади [6,7,8,9]:

1) Шаклнинг турли кўпхадлари:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x^i; \quad (1)$$

2) Гармоник ёки логистик:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i / (1 + \exp(-x_i))); \quad (2)$$

3) Экспоненциал:

$$y = \sum_{i=0}^n a_i e^{\beta_i}. \quad (3)$$

Мезон - бу интерполяция оралиғида, яъни экспериментал нуқталар кўрсатилган жойда босқичма- босқич интеграциялашувнинг ўртача квадратик хатолиги. У маълумотларни ўқитиш ва текшириш кетма - кетликларига бўлишни талаб қилмайди: сонли фарқ моделларини босқичма-босқич интеграллаш аниқлигини текшириш моделнинг ўзи синтез қилинган бир хил нуқталарда бажарилиши мумкин ($N=N_A + N_B$) [10,11,2].

Мезон бутун маълумотлар наъмунаси учун ёки фақат тажриба маълумотларининг ўқитиш кетма-кетлиги (А) учун ҳисобланса, ички деб номланади ва бунда қуйидаги шарт бажарилиши керак [4,6,10]:

$$\Delta^2(A) = \left(\sum_{i=1}^N (\eta_{маб} - \eta_m) \right)^2 / \sum_{i=1}^N \eta_{маб}^2; \quad (4)$$

бу ерда, $\eta_{маб}$, η_m - регрессияни прогноз қилувчи тенглама асосида ҳисобланган параметрларининг қийматлари, $N=N_A+N_B$ - икки қисмга бўлинган экспериментал маълумотлар (нуқталар) сони - ўқитиш (N_A) ва текшириш (N_B).

Ташқи мезон дисперциянинг чуқур минимумини олишга ва шунга мос равишда ўрганилаётган жараён учун оптимал ва ягона прогнозли тенгламани тузишга имкон беради. Бу мезон модел коэффициентларини баҳолаш учун фойдаланилмаган маълумотларнинг синов кетма-кетлиги (В) бўйича ҳисобланади ва масалага қараб қуйидагиларга бўлинади [11,12,13,15]:

1) Мунтазамлик мезони:

$$\Delta^2(B) = \left(\sum_{i=1}^{N_B} (\eta_{маб} - \eta_m) \right)^2 / \sum_{i=1}^{N_B} \eta_{маб}^2. \quad (5)$$

Моделларнинг бир-бири билан таққосланган коэффициентлари энг кичик квадратлар усули ёрдамида ўқитиш жараёни кетма-кетлиги бўйича аниқланади ва барча моделлар синов кетма-кетлиги нуқталарида ўлчанган ўртача квадратик хатоликнинг қиймати бўйича танланади [14,8]. Бу кетма-кетликдаги нуқталар коэффициентларнинг баҳоларини олишда иштирок этмайди ва шунинг учун мунтазамлик мезонлари аниқ бир оптимал моделни танлашга имкон берувчи ташқи қўшимча ҳисобланади [4,5].

2) Кўчиришнинг минимал мезони кириш маълумотлари жадвалининг икки хил қисмида олинган икки моделнинг чиқиш миқдори қийматларининг максимал мос келишини талаб қилади:

$$\Delta_{cm}^2(A) = \left(\sum_{i=1}^{\alpha N} (\eta_A - \eta_B) \right)^2 / \alpha \sum_1^N \eta_{мабi}^2; \quad (6)$$

бу ерда, A - чиқиш қиймати дисперциясининг катта қийматига эга бўлган нуқталари (ўқитиш кетма-кетлиги); B - кичик қийматга эга бўлган нуқталар (текшириш кетма-кетлиги); $= 1,5 - 3,0$ - экстраполяция коэффиценти.

A ва B кетма – кет экспериментал маълумотларда моделдан бир хил натижаларни беришни талаб қилади. Бу мезон шовқинли экспериментал маълумотларда яширин қонун тиклаш муаммосини ҳал қилиш имконини беради ва шунинг учун у ҳам идентификация масаласини ечиш учун тавсия этилади [7; 4; 9].

3) Сонли ва фаркли моделларни босқичма-босқич интеграллаш учун яқинлашиш мезони қуйидагича [12-15]:

$$\Delta(3) = \left(\sum_1^N (\eta_m - \eta_{маб}) \right)^2 / \sum_{i=1}^N \eta_{мабi}^2. \quad (7)$$

4) Ўзгарувчилар баланси мезонлари. Берилган бир қатор экспериментал нуқталардан функциянинг тикланиши икки хил масалани ечишга қадар камаяди: аппроксимация ва экстраполяция. Мезон қуйидагича шаклга эга [6-8, 11-14]:

$$B = \sum_1^N (f_1(\eta_i) - f_2(\eta_i))^2; \quad (8)$$

бу ерда, f_1, f_2 - турли икки вақт нуқталари учун топилган прогноз килувчи функциялар.

АГҲОУ маълумотларни қидириш, прогнозлаш, мураккаб тизимларни моделлаштириш, оптималлаштириш каби соҳаларда қўлланилади. АГҲОУ алгоритмлари аста-секин мураккаб полиномли моделларни саралашни ва ташқи мезон ёрдамида энг яхши ечимни танлашни таъминлайдиган индуктив процедура билан тавсифланади [2-4, 9, 11]:

$$Y(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i f_i; \quad (9)$$

бу ерда, f_i - ҳар хил кириш тўпламига боғлиқ бўлган элементар функциялар;

a_i – коэффицентлар;

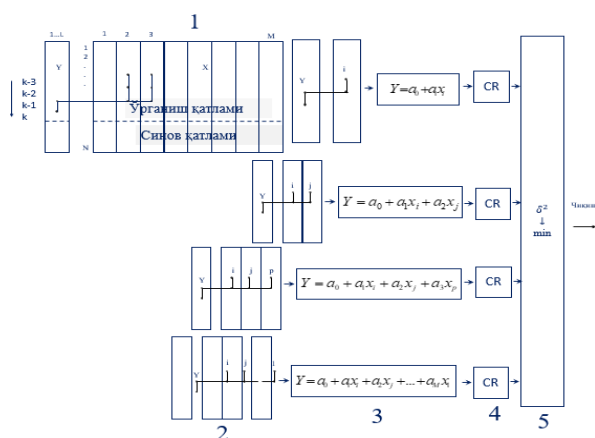
m - асосий функция компонентларининг сони.

АГҲОУ да асосий функция сифатида Колмогоров - Габор полиномининг бир текисда мураккаблашиши олинади:

$$Y(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots; \quad (10)$$

бу ерда, $\partial = \{(x_{ij}, y_i)\} i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m;$

n_1 - ўрганилаётган маълумотлар сони; n_2 тест қилинадиган маълумотлар сони деб қабул қилинса, ушбу маълумотларни АГҲОУ асосида прогнозлаш тамойили қуйидаги схема асосида ташкил этилади:



1 – расм. АГҲОУ асосида прогнозлаш тамойили схемаси:

1. Маълумотларни танлаш. 2. Қисман тавсифлар қатламлари. 3. Қисман тавсифлар шакли. 4. Таркибни аниқлаш учун ўрнатилган энг яхши моделларни танлаш. 5. Саралаш мезони бўйича кўшимча оптимал модел таърифи

АГҲОУ тармоғининг тузилиши тайёрланган ўқитиш ва маълумотлар тўпламлари асосида автоматик равишда тузилади. Ўқитиш жараёнида тармоқ кенгайди ва ривожланади, ҳамда унинг самарадорлигини оширишга эришилади [1,3,5]. Тармоқнинг янги қатлами учун нейронларни танлашда қайта ишлаш ва баҳолаш функцияларидан фойдаланилади. Бунда қайта ишлаш функцияси ёрдамида нейронлар шакллантирилса, баҳолаш функцияси ёрдамида шакллантирилган нейронлар рухсат этилган хатолик мезони бўйича баҳоланади. Баҳолаш натижасига кўра юқори хатоликка эга бўлган нейронлар тармоқдан истисно қилинади.

Кўп факторли ва мураккаб структурага эга бўлган дастлабки маълумотларни ўрганиш ва шу асосида прогнозлаш моделини ишлаб чиқиш мақсадида кенг қўлланилаётган усуллардан бири АГҲОУ ҳисобланади. АГҲОУ бошқа прогнозлаш усулларидан куйидаги хусусиятларига кўра фарқ қилади [1,10]:

- 1) мураккаб ўзгариш қонуниятига эга бўлган маълумотлар структурасини яхши ўрганади;
- 2) яширин қатламлардаги қатламлар ва нейронлар сони, модел тузилиши ва бошқа параметрлар автоматик тарзда аниқланади;
- 3) бу юқори аниқликдаги прогнозлаш моделини бера олади ва барча вариантларни саралашда (мавжуд функциялар синфида) энг яхши натижани аниқлаб беради;
- 4) у автоматик равишда маълумотларнинг ўзаро боғлиқлигини ўргана олади ва самарали кириш танланмаларини танлай олади;
- 5) АГҲОУ саралаш алгоритмлари дастурий таъминотни ишлаб чиқиш учун жуда оддий структурага эга;
- 6) иккичи даражали кўп қатламли нейрон тармоқлари бошқа моделлаштириш алгоритмларининг аниқлигини ошириш мақсадида қўлланилиши мумкин.

Мураккаб вақт қаторларини юқори аниқликда прогнозлашда АГҲОУ нинг бир нечта турлари мавжуд бўлиб улардан асосан куйидагилар қўлланилади [13-15]:

1. Комбинация (*COMBI*).
2. Кўп қатламли итерация (*Multilayered Iteration MIA*).
3. Системанинг объектив таҳлили (*Objective System Analysis (OSA) algorithm*).
4. Иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоғи (*Twice-Multilayered Neural Nets*).

Кўп тадқиқотлар натижасида кўриш мумкинки, *COMBI* асосида шакллантирилган маълумотларни, иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоғи орқали нейронлар сони аниқланади ва нейронлар автоматик тарзда танланиб прогнозлаш модели чиқарилади қўлланилади [5,7]. Прогнозлаш модели орқали олинган натижалар АГҲОУ га асосланган бошқа турларига қараганда юқори аниқликни беради. Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолатда мазкур диссертация ишида АГҲОУ га асосланган *COMBI* ва иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоқ турларидан бир вақтда фойдаланилган.

Кирувчи маълумотларни шакллантириш. *COMBI* ва иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоқ асосида электр энергияси истеъмолини прогнозлаш масаласи *python 3* дастурлаш тили ёрдамида бажарилган ва куйидаги пакетлардан (кутубхона) фойдаланилган:

- *Numpy*;
- *Sys*;
- *Multiprocessing*;
- *Gmdhpy*;
- *Sklearn*;
- *Iertools*.

Мазкур усул ёрдамида электр энергия истеъмолини прогнозлаш мақсадида корхонанинг электр энергия истеъмолига тегишли бўлган маълумотлар 2018, 2019, 2020 йиллар учун ҳисобий-экспериментал кўрсаткичлари ва унга таъсир этувчи факторлар асос қилиб олинган.

Электр энергияси истеъмолини прогнозлашда унга таъсир этувчи факторларни юқорида келтирилган куйидаги боғланишга келтириш мумкин:

$$W_{\text{прог}} = f(\Delta W, T, P, Q_{\text{юк}}) \quad (11)$$

Уч йиллик маълумотларни қайта ишлаш натижасида прогнозлаш моделлари ишлаб чиқилган. Мазкур маълумотлар ҳақиқий электр энергия истеъмоли W , цехлардаги электр энергия исрофи ΔW ва маҳсулот ҳажми P “Uz Truck & Bus Motors” кўшма корхонасида олиб борилган тадқиқотлар давомида олинган, об-ҳаво ҳарорати T интернет ресурслари ёрдамида олинган бўлиб, қурилмаларнинг юкланиши $Q_{\text{юк}}$ эксперт баҳолаш усули асосида шакллантирилган. Юқорида айтилганидек, дастлабки маълумотлар турли манбалар орқали шакллантирилган бўлиб, уларни дастурда қўллаш учун қулай шаклга келтириб, электр энергия истеъмолига таъсир этувчи факторларни дастурга алоҳида қабул қилган ҳолатда, *pandas* кутубхонаси ёрдамида ягона *csv* файлга вақт қаторлари маълумотлари асосида йиғилади.

Read_csv оператори ёрдамида тайёрланган маълумотлар чақирилиб, ундаги устун номлари *dataset.columns* функцияси ёрдамида бириктириб олинади.

COMBI усули асосида маълумотларни шакллантириш учун бир нечта ташкил этувчи функциялар ёзиб олинган.

1. *Test, train* – функциялари асосида дастлабки маълумотларни тест ва ўқитиш қийматлари белгилаб олинган ва маълумотларнинг 67% ўқитишга ва 33% тестга ажратилган.

2. *Train* сифатида шакллантирилган маълумотлар *Seq_type* функцияси ёрдамида – ўрганиш ва тасдиқлаш қисмларига ажратиб олинган. Мазкур функция маълумотларни ихтиёрий комбинация асосида ажратиб олиши учун, унинг қийматини *random* (ихтиёрий) деб белгилаб олинган.

Шаклланган маълумотларни ўқитиш мақсадида иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоқларига юборилади ва бу нейрон тармоғининг параметрлари, куйидагича шакллантирилган:

1. Максимал қатламлар сони кирувчи маълумотларга боғлиқ бўлганлиги, ҳамда дастурдан фойдаланувчи исталган кенгликдаги маълумотларни бера олишини таъминлаш мақсадида максимал қатламлар сони бириктириб олинган. Бунда максимал қатламлар *max_layer_count* деб белгиланди ва унинг қиймати *sys.maxsize* га бириктирилади. Бунда қатламлар умумий хатолик қиймати 5% дан кичик бўлмагунга қадар қайта такрорланиш асосида қиймат шаклланиб боради.

2. Нейронлар сонини автоматик тарзда шакллантириши учун *manual_best_neurons_selection* функциясининг қийматини *False* га тенглаштирилган.

3. *_delete_unused_neuron* функцияси ёрдамида, ишлатилмаган нейронлар қатламдан ўчириб юборилади. Чунки, *manual_best_neurons_selection=False* қиймат $N \cdot (N-1)/2$ та нейрон ишлаб чиқаради. *Seq_type=random* қиймат ихтиёрий комбинациялар етказиб берганлиги туфайли, нейронлар сонини олдиндан белгилаб бўлмайди ва шунда ишлатилмайдиган нейронлар қатламдан чиқариб юборилади.

Куйидаги расмда юқоридаги *COMBI* ҳамда иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоғининг ишлаш кетма-кетлиги келтирилган (2-расм).

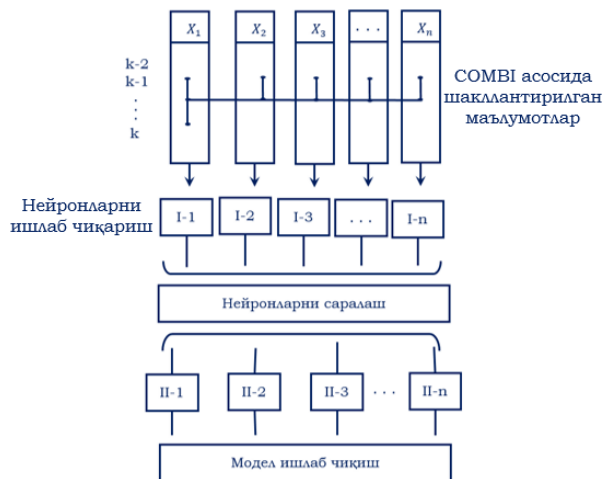
Бунда, *COMBI* асосида шакллантирилган маълумотлар ўқитиш учун иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоғига юборилади ва у юқорида айтиб ўтилган функциялар ёрдамида ўқитиш маълумотларини ўрганиб, натижани чоп этиб беради.

Бу ерда дастлабки маълумотлар юқорида айтилганидек, икки қисмга: ўқитиш ва тест қисмларига ажратилади. Дастлаб ўқитишга ажратилган маълумотлар асосида прогнозлаш моделини шакллантириш амалга оширилади ва *max_layer_count=sys.maxsize* функцияси ёрдамида максимал қатламлар сони хисобланади.

Максимал қатламлар сони аниқланган ҳолда, биринчи қатлам бириктирилади ва биринчи қатлам учун нейронлар сони аниқланиб, аниқланган нейронлар асосида нейронларни танлаш амалга оширилади. Юқорида келтирилган жараён барча қатламларда амалга оширилиб, прогнозлаш моделлари тузилади. Барча аниқланган прогнозлаш моделлари маълумотлар

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

базасига тўпланади ва тестга ажратилган маълумотлар асосида прогноз хатолиги текширилади.



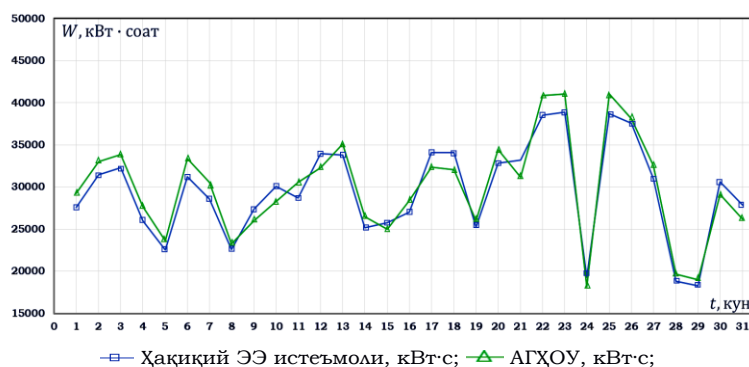
2-расм. *COMBI* ҳамда иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоғининг ишлаш кетма-кетлиги

Корхонанинг ҳақиқий истеъмол қилган электр энергияси ва *COMBI* ҳамда иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоқ асосида аниқланган прогноз кўрсаткичлари орасидаги фарқ тўғрисидаги маълумотлар жадвал кўринишида 1-жадвалда, график кўринишида 3 ва 4 – расмларда келтирилган.

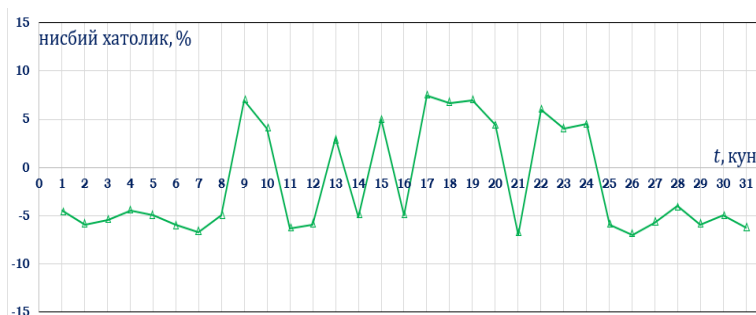
1- жадвал

АГҲОУ ёрдамида ишлаб чиқилган прогнозлаш модели ва ҳақиқий электр энергияси истеъмоли кўрсаткичларини таққослаш жадвали

№	W _{факт} кВт·с	W _{прог} кВт·с	Е %	№	W _{факт} кВт·с	W _{прог} кВт·с	Е %
1	27545,73	28785,28	-4,5	17	34054,1	31500,079	7,5
2	31413,02	33297,80	-6	18	34054,1	31772,51	6,7
3	32265,5	34040,06	-5,5	19	25215	23449,96	7
4	25979,2	27148,28	-4,5	20	32799,1	31355,95	4,4
5	22494,7	23619,4	-5	21	33153,1	35473,79	-7
6	31195,9	33067,62	-6	22	38517	36205,97	6
7	28576,9	30520,17	-6,8	23	38880,6	37325,36	4
8	22581,6	23710,66	-5	24	19296,3	18427,96	4,5
9	27386,2	25469,12	7	25	38700,6	41022,62	-6
10	30083,9	28880,50	4	26	37543,8	40171,87	-7
11	28680	30515,47	-6,4	27	30972,7	32769,12	-5,8
12	33959,2	35996,78	-6	28	18785,7	19537,13	-4
13	33768,3	32755,28	3	29	18280,5	19377,34	-6
14	25145	26452,49	-5,2	30	30617,5	32148,39	-5
15	25726,7	24440,3	5	31	27826,4	29579,42	-6,3
16	27022,7	28373,82	-5				
Абсолют ўртача квадратик хатолик					1586,8кВт·с		



3-расм. “Uz Truck & Bus Motors” қўшма корхонаси электр энергияси истеъмолининг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари



4-расм. “Uz Truck & Bus Motors” қўшма корхонаси электр энергияси истеъмолининг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари орасидаги хатолик кўрсаткичлари графиги

Юқоридаги 4-расмдан кўриш мумкинки электр энергиясининг прогнозлаш модели ёрдамида аниқланган кўрсаткичлар ва ҳақиқий электр энергия истеъмоли кўрсаткичлари ўртасидаги ўртача хатолик 6% ни ташкил этади.

Хулоса қилиб айтганда, электр энергия истеъмолини прогнозлашда аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усулини қўллаш прогноз қилинаётган кўрсаткич ва унга таъсир этувчи факторларни аниқлаш, дастлабки маълумотларнинг даврийлиги ва уларни киритиш ҳамда моделлаштиришда фойдаланиладиган дастурий муҳитни танлаш асосида етарли аниқликда электр энергия истеъмолини прогнозлаш моделини яратиш имконини беради.

Адабиёт

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Т.: Fan va texnologiya, 2021. - 923 с.
2. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: / Наукова Думка 1982. –296 с.
3. I.U. Rakhmonov, N.N. Niyozov, K. Lee. Development of correlation and regression models of electric energy indicators of the equipment with continuous

nature of production // Техника фанлари ва инновация журнали 2019, №2, С.203-210.

4. Madala H.R., Ivakhnenko A.G. "Inductive Learning Algorithms for Complex System Modeling", 1994. – 368 с.

5. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев-1975, -312 с.

6. Ниёзов Н.Н. Саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини прогношлаш усуллари таҳлили // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. - Тошкент, 2020. - №3-4. 214-218 б.

7. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. Москва -1987. -120 с.

8. https://controlengrussia.com/perspektiva/neural_networks.

9. <https://stackabuse.com/scikit-learns-traintestsplitsplit-training-testing-and-validation-sets/>.

10. <https://www.stackvidhya.com/train-test-split-using-sklearn-in-python/>.

11. <https://algotrading101.com/learn/train-test-split/>.

12. <https://machinelearningmastery.com/when-to-use-mlp-cnn-and-rnn-neural-networks/>

13. Рахмонов И.У., Нажимова А.М., Ниёзов Н.Н., Курбонов, Н.Н. Кўп факторли таҳлил асосида электр энергия истеъмолини сунъий нейрон тармоқлар асосида прогношлашнинг LSTM_PROGNOZ дастури // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги хузуридаги интеллектуал мулк ағетлиги DGU №13236 25.10.2021.

14. Ниёзов Н.Н. Электр энергияси истеъмоли параметрларини прогношлашнинг модел ва алгоритмлари («Uz Truck & Bus Motors» ҚК мисолида): дисс. Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), -2022. – 188 бет.

15. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н. Программа Avto_prognoz для прогнозирования электропотребления на предприятиях машиностроения // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №05345 31.05.2018.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.313.3.045

**КОНВЕЙЕР ЮРИТМАСИ УЧУН УЧ ФАЗАЛИ ҚУТБЛАР СОНИ
ЎЗГАРУВЧАН ЧУЛГАМЛИ АСИНХРОН МАШИНАЛАР****М.Қ. Бобожанов, Ф.Н. Тўйчиев, Н.Х. Рашидов**

Мақолада кўп тезликли моторлардан фойдаланиши орқали конвейерларнинг самарадорлигини ошириши масалалари, шунингдек, қутблар сони ўзгарувчан чулғамларни яратиши муаммолари кўриб чиқилган. ҲҲҲ/ҲҲҲ узиб-улаш базавий схема асосида статор пазлари 36 ва қутблар нисбати 4/6 бўлган янги икки қатламли уч фазали қутблар сони ўзгарувчан чулғамни қуриши тартиби тақдим этилган. Электромагнит хусусиятларни таҳлил қилиши натижаларига кўра оптимал чулғам қадами танланган. Янги қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли экспериментал мотор серияли ишлаб чиқариладиган 4A132M4 типидagi магнит ўтказгич асосида яратилган. Электр моторнинг хусусиятларини таҳлил қилиши ANSYS/Maxwell дастури ёрдамида амалга оширилган. Шунингдек, янги икки тезликли моторни статик ва динамик режимларда экспериментал тадқиқот натижалари ҳам келтирилган.

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности конвейеров посредством применения многоскоростных асинхронных двигателей, а также проблемы создания полюсопереключаемых обмоток. Представлен порядок построения новой двухслойной трехфазной полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 4/6, выполненный в 36 пазах статора на основе базовой схемы переключения ҲҲҲ/ҲҲҲ. По результатам анализа электромагнитных свойств выбран оптимальный шаг обмотки. Экспериментальный двигатель с новой полюсопереключаемой обмоткой создан на основе магнитопровода серийной асинхронной машины типа 4A132M4. Анализ свойств электродвигателя проводился с использованием программы ANSYS/Maxwell. Также приведены результаты экспериментальных испытаний нового двухскоростного двигателя в статическом и динамическом режимах.

The article discusses the issues of increasing the efficiency of conveyors through the use of multi-speed motors, and also considers the problems of creating pole-changing windings. The procedure for constructing a new two-layer three-phase pole-changing winding with a pole ratio of 4/6, made in 36 stator slots on the basis of the basic switching scheme ҲҲҲ/ҲҲҲ, is presented. Based on the results of the analysis of the electromagnetic properties, the optimal winding pitch was selected. An experimental motor with a new pole-changing winding was created on the basis of a magnetic circuit of a serial asynchronous machine of the 4A132M4 type. The analysis of the properties of the electric motor was carried out using the ANSYS/Maxwell program. The results of experimental tests of a new two-speed motor in static and dynamic modes are also presented.

Кириш. Бугунги кунда жаҳонда кончилик саноатида лентали конвейерларнинг электр энергия самарадорлигини ошириш ва электр энергиядан тежамкорлик билан фойдаланиш муҳим ҳисобланади. Бу борада, жумладан лентали конвейер транспортининг асинхрон моторларини оптимал бошқариш, сарф бўладиган электр энергияни меъёрлаш, очиқ конларнинг чуқур горизонтларидан фойдали қазилмаларни ташиб чиқаришнинг комбинациялашган усулларини излаш ва конвейер ускунасининг ишончлигини оширишга катта эътибор қаратилмоқда [1].

Жаҳонда кончилик саноатида узунлиги 3000 метргача ва куввати 100 кВт гача бўлган лентали конвейер электр юритмаларида, одатда, қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар ишлатилади. Содда тузилганлиги ва арзонлиги бундай электр юритмаларнинг афзаллиги, ишга тушириш моментининг юқорилиги ва бу билан боғлиқ бўлган катта тортиш кучларининг пайдо бўлиши ҳамда лента сирпанишининг ошиши уларнинг камчилиги ҳисобланади. Шахта ва конларда қазилаётган юк оқимининг кўпайганда ёки камайганда конвейер юритмасида тезликни ростлаш зарурати пайдо бўлади [2].

Жаҳон амалиётида асинхрон моторларни тезлигини ростлашнинг бир нечта усуллари мавжуд, буларга асинхрон вентилли каскад, тиристорли частота ўзгартгич, шунингдек икки тезликли асинхрон моторлар кенг қўлланилади [3].

Статорда кутблар сони ўзгарувчан чулғам мавжуд бўлган асинхрон моторларга асосланган кўп тезликли электр юритмаларда бериладиган энергияни кўшимча ўзгартиришга тўғри келмайди ва сирпанишга кўшимча исрофларни сарфланмайдиган ягона ростлаш усулидир, бунинг натижасида уларнинг фойдали иш коэффициенти юқори бўлиши мумкин [4, 5, 6].

Икки тезликли асинхрон моторлар билан тезликни ростлаш усули энг содда ва нисбатан арзон усулдир. Бундан ташқари, кучсиз тармоқли моторларни тўғридан-тўғри ишга тушириш натижасида кучланиш 30% дан ортиқ пасайишига олиб келади. Бунда, биринчи навбатда, электр юритма томонидан ишлаб чиқилган момент камади, иккинчидан, кучланишнинг пасайишини қайд этадиган электрон ва микропроцессор қурилмалар электр юритмани тармоқдан узиб қўяди [7, 8, 9].

Икки тезликли асинхрон мотор орқали ишлайдиган электр юритмалардан фойдаланиш қуввати катта бўлган моторларни поғонали ишга тушириш жараёнини осонлаштиради.

Икки тезликли моторларни битта чулғамли ва иккита алоҳида чулғамли қилиб тайёрлаш мумкин. Бир хил қувватга эга бўлган битта чулғамли ва иккита алоҳида чулғамлиикки тезликли моторларни таққослаш шуни кўрсатадики, икки чулғамли моторлар битта чулғамли моторларга нисбатан кўпроқ харажатларни талаб қилади - электротехник пўлат учун 30-40% га ва чулғам мис 40-50 % га, бундан ташқари моторнинг фойдали иш коэффициенти ва $\cos\phi$ ўртача 10-15% га пасаяди [10, 11, 12].

Кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини яратишнинг энг кенг тарқалган усули Х.Ғ.Каримов томонидан яратилган. Чулғам схемасини қуриш жараёнини соддалаштириш учун тоқлар тақсимланишини ўз ичига олган дискрет берилган фазовий функция (ДБФФ) кўринишидаги янги усул киритилган бўлиб қисқача ДБФФ усули деб номланади [13, 14, 15].

Бошқа усуллардан фаркли равишда, ушбу метод янги принципга асосланган бўлиб, бунда кутблар ($2p_1$) ва $2p_2$) ва фазалар (m_1 ва m_2) сони берилган иккита икки қатламли нормал ишланган чулғам олинади ва икки тезликли чулғам лойихалаш жараёнида бир вақтда қўлланилади [16, 17, 18, 19].

ДБФФ методи ёрдамида m - m -зонали чулғам схемасини ишлаб чиқиш. Энг кенг тарқалганлардан бири бу кутблар сони 4/6 нисбатли, чунки бу нисбатга эга бўлган икки тезликли машиналардан турбомеханизмлар ва бошқа қурилмалар юритмаларида фойдаланиш мумкин [20]. Мисол тариқасида, ДБФФ усули ёрдамида 36 та пазда кутблар сони ўзгарувчан чулғам қурилишини кўриб чиқамиз. Дастлабки чулғам учун биз $p_1=2$ ва $p_2=3$. жуфтлари рақамлари билан 36 та пазга жойлаштирилган иккита икки қаватли m -зона статор чулғамларини оламиз. Ушбу чулғамлар учун кутб ва фазадаги пазлар сони $q_1=6$ ва $q_2=4$ га тенг бўлади. Кенгайтирилган схемага мувофиқ ҳар бир чулғамнинг ДБФФ алоҳида олинади (1, 2-жадваллар).

1-жадвал

 $2p_1=4$ томон учун ДБФФ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e
d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	

2-жадвал

 $2p_1=6$ томон учун ДБФФ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
b	b	b	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b
a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b	c	c	c

Ғалтак гуруҳларини бирлаштириш "ҲҲҲ/ҲҲҲ" (БС) схемасига мувофиқ амалга оширилади. Ҳар бир ўрашнинг пастки қаторини, бир-бирининг остига фазанинг номи билан битта ва бошқа ўраш билан жойлаштириб, у ёки бу чулғам рақамига мос келадиган филиални аниқлаш мумкин (3-жадвал).

3-жадвал

Иккита чулғам қуйи қатламларини ДБФФни бирлаштириш

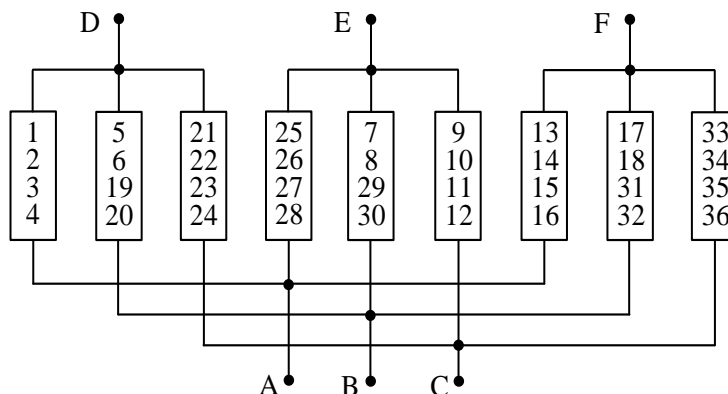
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	кутб
d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	f	p=2	
a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	c	p=3	

Олинган ДБФФ га мувофиқ фазаларни бирлаштириш жадвали ёрдамида (3-жадвал) ғалтакларни шаҳобча бўйлаб тақсимланиш жадвалини олиш ва кутблари ўзгарувчан чулғам уланиш схемасини тузиш мумкин. "ҲҲҲ/ҲҲҲ" узиб-улаш схемасини қуйидаги тармоқларга ажратиш мумкин (1-расм): биринчи фаза учун А-Д, А-Е, А-Ғ, иккинчи фаза учун В-Д, В-Е, В-Ғ, учинчи фаза учун С-Д, С-Е, С-Ғ. 4-жадвалда "ҲҲҲ/ҲҲҲ" узиб-улаш схемасининг шаҳобчалари бўйлаб кутблари сони ўзгарувчан чулғам ғалтаклари тақсимланиши ҳолати кўрсатилган.

Ғалтакларнинг гурухланиши

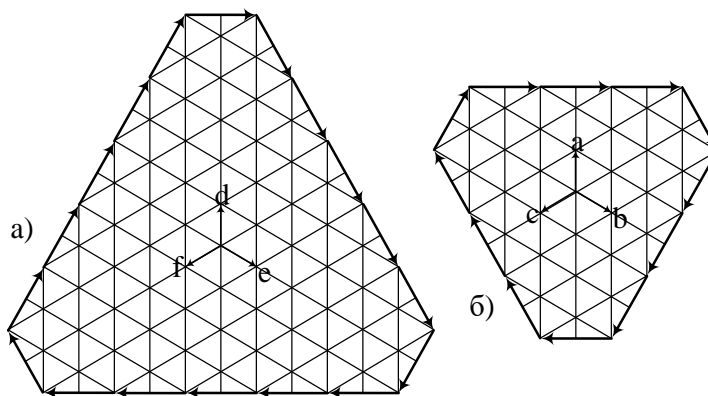
№	YYY/YYY базавий схема шахобчалари								
	A-D	A-E	A-F	B-D	B-E	B-F	C-D	C-E	C-F
	1, 2, 3, 4	25, 26, 27, 27	13, 14, 15, 16	5, 6, 19, 20	7, 8, 29, 30	17, 18, 31, 32	21, 22, 23, 24	9, 10, 11, 12	33, 34, 25, 36

Олинган чулғам иккала қутб томони учун ҳам таъминлаш манбасига нисбатан мутлақо симметрик (2- ва 3-жадвалга қаранг), ҳар бир фазанинг бир хил номли шахобчаларининг ЭЮК векторлари бир-бири билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича тенг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган, чулғам қадами $y=7$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ кутбли томон учун чулғам коэффициенти мос равишда $k_{чул1}=0,87$ ва $k_{чул2}=0,808$ тенг бўлади.



1-расм. Статор пазлар сони 36 ва қутблар нисбати 2/3 бўлган “YYY/YYY” чулғам электр схема

2-расмда статор пазлар сони 36 ва чулғам қадами $y=7$ бўлганда Гёргес диаграммаси келтирилган. Ушбу чулғам қадами учун дифференциал сочилиш коэффициенти $2p_1=4$ томон учун $\sigma_0=4.6\%$, $2p_2=6$ томон учун $\sigma_0=5.4\%$ га тенг.

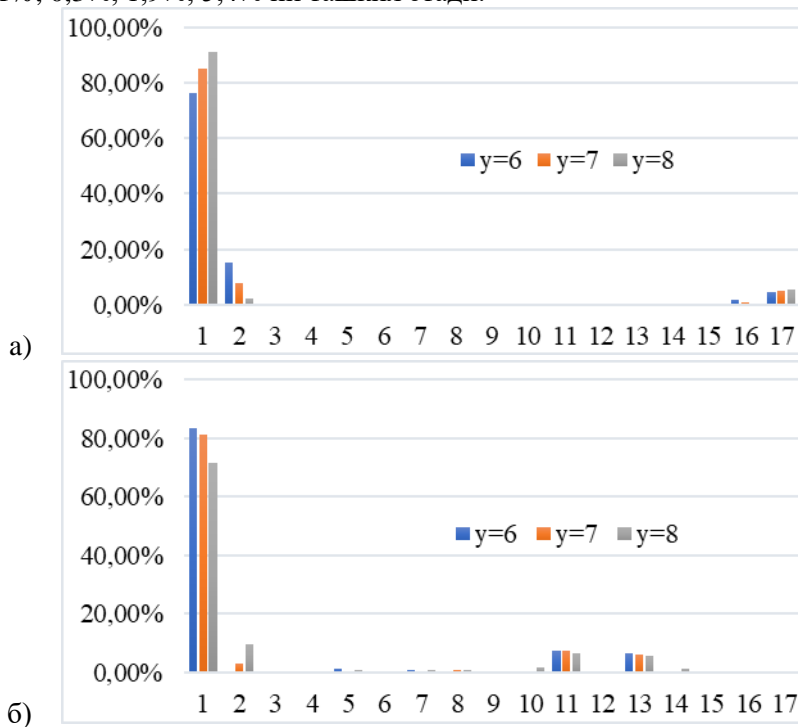


2-расм. $Z = 36$ ва $y = 7$ бўлган «YYY/YYY» схема бўйича Гёргес диаграммаси: а) $2p_1=4$ томон учун б) $2p_2=6$ томон учун

Статор пазлари 36 тенг ва кутблари 2:3 нисбатли «ҮҮҮ/ҮҮҮ» базавий схема асосидаги кутблари сони ўзгарувчан чулғамда $2p=4$ кутб томони учун қадам $u=6$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари 2-, 5-, 7-, 8-, 10-, 11-, 13-, 14-, 16-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффиценти ҳисобга олинганда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 15,1%, 0,4%, 0,6%, 0,3%, 0,2%, 0,4%, 0,2%, 0,2%, 1,9%, 4,5% ни ташкил этади (2.10-жадвал).

Чулғам қадами $u=7$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари 2-, 7-, 11-, 14-, 16-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффиценти ҳисобга олинганда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 7,9%, 0,4%, 0,3%, 0,3%, 1%, 5%ни ташкил этади.

Чулғам қадами $u=8$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари 2-, 5-, 7-, 8-, 10-, 11-, 13-, 14-, 16-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффиценти ҳисобга олинганда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 2,2%, 0,2%, 0,1%, 0,4%, 0,3%, 0,1%, 0,1%, 0,3%, 1,9%, 5,4% ни ташкил этади.



3-расм. «ҮҮҮ/ҮҮҮ» схемада статор қадами турлича бўлганда МЮК гармоник таркиби: а) $p=2$ учун б) $p=3$ учун

Ушбу чулғамнинг $2p=6$ кутб томони учун чулғам қадами $u=6$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари 5-, 7-, 8-, 11-, 13-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффиценти

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ҳисобга олинганда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 1,2%, 0,9%, 7,6%, 6,4%, 0,4% ни ташкил этади.

Чулғам қадами $y=7$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари 2-, 5-, 7-, 8-, 10-, 11-, 13-, 14-, 16-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффиенти ҳисобга олинганда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 2,9%, 0,1%, 0,1%, 0,7%, 0,6%, 7,4%, 6,2%, 0,4%, 0,4% ни ташкил этади.

Чулғам қадами $y=8$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари 2-, 5-, 7-, 8-, 10-, 11-, 13-, 14-, 16-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффиенти ҳисобга олинганда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 9,6%, 1%, 0,7%, 0,8%, 1,9%, 6,5%, 5,5%, 1,4%, 0,4%, 0,3% ни ташкил этади.

Янги 4A132M4/6 двигателининг экспериментал тадқиқотлари шуни кўрсатадики $p_1=2$ томонда $P_2=9$ кВт, $\eta=87\%$, $\cos\varphi=0,87$, $I_1=18$ А, $M=58$ Нм, $p_2=3$ томонда $P_2=6$ кВт, $\eta=85\%$, $\cos\varphi=0,51$, $I_1=20$ А, $M=58$ Нм.

5-жадвал

Ишчи характеристикалар

№	I_1 , А	P_2 , кВт	η	M , Нм	n , айл/мин	$\cos\varphi$
$p=2$						
1	6,36	2,19	90,6	14	1494	0,55
2	8,17	3,7	91,9	23,8	1489,5	0,73
3	10,2	5,11	91,5	32,19	1485	0,81
4	13,2	6,79	90,2	43,9	1479	0,85
5	16	8,2	86,6	53,58	1470	0,87
6	18	9,5	86,9	62	1473	0,87
7	22,7	11	84,42	72	1458	0,86
$p=3$						
1	18,11	1,11	59,12	10,6	998	0,15
2	18,19	1,65	68	15,84	997	0,19
3	18,5	2,71	77	26	995	0,28
4	19	3,75	81,2	36	993	0,36
5	19,6	4,75	83,5	45,7	991	0,43
6	21	6,2	85,17	59,8	988	0,52
7	22	7,1	85,6	68,8	986	0,57

Юқорида келтирилган экспериментал тадқиқотлар натижалари таҳлили асосида шундай хулосага келиш мумкинки, янги турдаги кутблар сони ўзгарувчан чулғам асосидаги икки тезликли мотор юк ташиш транспорт механизмларида мавжуд бўлган бир тезликли моторлар ўрнига жорий қилиш имконини беради.

ДБФФ усулидан фойдаланиб, статор пазлар сони 36 бўлган магнит ўзақда электромагнит хусусиятлари яхшиланган ва ишлаб чиқариш технологияси содда

“УУУ/УУУ” схема асосида кутблари нисбати 2/3 бўлган кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаси ишлаб чиқилди.

Кутблари ўзгарувчан чулғамнинг чулғам коэффициенти, Гёргес диаграммаси ва электромагнит таркибини таҳлил қилиш асосида оптимал чулғам қадами $u=7$ олинди.

Адабиёт

1. 4E Electric Motor Systems Annex (EMSA). Policy Guidelines for Motor Driven Units – Part 2, 2018.
2. Богатырев Н.И. Креймер А.С. Ванурин В.Н. Джанибеков К.А. Модулированные статорные обмотки двигателей для привода вентиляторов. //Научный журнал КубГАУ, №118(04), 2016, С. 1441- 1458.
3. Девотченко Ф.С. Замена обмотки трехфазных электродвигателей. /Справочное пособие. Часть 1. - Краснодар: Советская Кубань, 1991. - 208 с.
4. Ванурин В.Н. Статорные обмотки асинхронных электрических машин: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп.- СПб.: Издательство «Лань», 2016. - 224 с.: ил. ISBN 978-5-8114-1769-8.
5. H. Auinger. Polumschaltbare Dreiphasenwicklung mit 6 Klemmen Übersicht zum Stand der Technik. Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, vol. 69, no. 17, pp. 926-932, 1978.
6. J.H.H.Alwash; K.S.Ismail; J.F.Eastham. A novel 16/6 phase modulated winding. IEEE Transactions on Energy Conversion (Vol. 15, Iss.2, Jun 2000), pp 188 – 190. DOI: 10.1109/60.866998.
7. C.Kovacs. Pole-Changing Windings for Close Ratio and 1:N Ratio Using the 3/Y/3/Y method. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal 3 (4) pp 241-253, 2018. doi: 10.25046/aj030424.
8. M. van der Giet, and K.Hameyer. Induction motor with pole-changing winding for supply variable frequency. in Proc. 2007 IEEE Int. Electric Machines & Drive Conference, Antalya, Turkey, 3-5 May 2007, pp. 1484-1489. doi:10.1109/IEEMDC.2007.383647.
9. L.M.Melcescu, M.V.Cistelean, O.Craiu and B.Cosan. A new 4/6 pole-changing double layer winding for three phase electrical machines. The XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010, pp. 1-6, 2010 DOI: 10.1109/ICELMACH.2010.5608041.
10. A.R.W.Broadway, K.S.Ismail. Phase modulated 3-phase pole changing windings. IEE Proceedings B - Electric Power Applications vol. 133, pp. 61- 70, 1986. DOI: 10.1049/ip-b.1986.0011.
11. H.Liu, J.Wang, Z.Zhang. Performance analysis of variable speed multiphase induction motor with pole phase modulation. Archives of electrical engineering, vol. 65(3), pp. 425-436 (2016) DOI:10.1515/aee-2016-0031.
12. Попов Д.А., Попов С.Д. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка с отношением чисел пар полюсов $p_1:p_2= 1:2$. Патент РФ № 2012981, 15.05.1994.
13. Каримов. Х.Г., Тупогуз Ю.А. Метод построения электрически совмещенных обмоток переменного тока // Электричество. – Москва, 1987. - №9 – С. 29-38.

14. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Новые полюсопереключаемые обмотки для асинхронных двигателей механизмов с напряженным режимом работы // Электричество. -1996. - №1 – С. 27-32.

15. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Методы построения обмоток для многоскоростных электрических машин. – Ташкент: Издательство «Fan va technology», 2010. - 170 с.

16. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго- и ресурсосбережения. /Под редакцией проф. Х.Г.Каримова. – Ташкент:Фан ва технологиялар марказининг босмаҳонаси, 2012. - 179 с.

17. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н. Построение и анализ полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 5/6 методом ДЗПФ. //Вестник ТашГТУ, 2016. №3-4, -С.138-143.

18. Рисмухамедов Д.А. Полюсопереключаемые асинхронные двигатели для турбомеханизмов. / Дисс. ...канд. техн. наук. - Ташкент, 2006. -225 с.

19. Попов Д.А., Попов С.Д. Критерии оценки полюсопереключаемых статорных обмоток трехфазных многоскоростных асинхронных двигателей // Электричество. - 1997. - № 9. – С. 44-52.

20. Попов В.И. Оценка электромагнитных свойств трех- и двухфазных обмоток электрических машин переменного тока // Электротехника. - 2001. - № 10. – С. 9-17.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.315.211

35 KV LI TIKILGAN POLIETILEN IZOLATSIYALI VA SHIMDIRILGAN QOG'OZ IZOLATSIYALI KABELLARNING SOLISHTIRMA TAHLILI**N.B. Pirmatov, Sh.A. Yaxyayeva**

Bugungi kunga kelib mahalliy elektr tarmoqlari kabel liniyalarida tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarga extiyoj ortib bormoqda. MDH mamlakatlari va O'zbekiston hududida kabel liniyalari asosan konstruksiyasi eskirgan kabellardir. Shu sababli polietilen izolatsiyali kabellarni kabel liniyalariga bosqichma- bosqich qo'llash amalga oshirilmoqda. Ushbu maqolada tikilgan polietilen izolatsiyali va shimdirilgan qog'oz izolatsiyali kabellarning solishtirma tahlili yoritilgan.

Сегодня возрастает спрос на кабели со сшитой полиэтиленовой изоляцией в кабельных линиях местных электрических сетей. На территории стран СНГ и Узбекистана кабельные линии в основном состоят из кабелей устаревшей конструкции. Поэтому кабели с полиэтиленовой изоляцией постепенно внедряются в кабельные сети. В данной статье проводится сравнительный анализ кабелей с полиэтиленовой и бумажной изоляцией.

Today, there is a growing demand for polyethylene-insulated cables sewn into the cable lines of local electrical networks. On the territory of the CIS countries and Uzbekistan, cable lines are mainly cables of an outdated design. Therefore, polyethylene insulated cables are gradually introduced into cable lines. This article provides a comparative analysis of cables with XLPE and paper insulation.

Kirish. O'zbekiston respublikasi hududida elektr kabellarini ishlab chiqarishda zarur bo'ladigan yuqori darajadagi sifatli polietilen ishlab chiqaruvchi yo'q, shu sababli kabellar va muftalar uchun kerakli xomashyoning 100 % i chet mamlakatlaridan import qilinadi. Bundan tashqari tikilgan polietilen izolatsiyali kabellar narxi arzon emas va ba'zi hollarda ularning narxi bir yarim ikki barobar yuqori, lekin ushbu turdagi kabellarning qiyosiy tahlili shuni ko'rsatdiki, narxdan ko'ra ishonchlilik va chidamlilik yuqori bo'lishi muhimroqdir.

Kabel liniyalarida qo'llaniladigan qog'oz izolatsiyali moy shimdirilgan kabellarning ko'pchiligi bir qator muhim kamchiliklarga ega: yuqori shikastlanish, yuklanish qobiliyatining cheklanganligi, yotqizish va muftani o'rnatish texnologiyasining pastligi. Tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarning o'ziga xos xususiyatlari xalqaro sifat standartlariga muvofiqligi shuningdek qog'oz izolatsiyali kabellarga nisbatan bir qator avzalliklarga ega: ortiqcha yuk va qisqa tutashuv vaqtida simlarning yuqori haroratni o'tkazuvchanligi, turli xil bir-biridan farqli bo'lgan yo'llarga yotqizish imkoniyati, og'irligining kamligi va bukulish burchagining kengligi murakkab bo'lgan yo'llarga yotqizishni yengillashtiradi, yirik miqyosidagi qurilishlarda kabel izolatsiyasi tarkibida suyuq dielektriklarning mavjud emasligi atrof muhitga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi. Atrof muhit harorati +50 °C dan -50 °C gacha bo'lganda kabellarni eksuatatsiya qilish mumkin. Yaroqlik muddati 30 yil [1].

Har bir soxada bo'lagani kabi kabel liniyalarida ham turli xildagi shikastlanishlar sodir bo'lib turadi. 35 kV li kabl liniyalaridagi shikastlanishlar asosan kabel liniyalarining eskirishidan sodir bo'ladi. Toshkent shahridagi kabel liniyalari asosan Sobiq Ittifoq davrida yotqizilgan kabel liniyalari bo'lib, allaqchon ishlash muddatini o'tab bo'lgan. Kabel liniyalaridagi eskirishlar xisobiga kabellar yerdagi namlikni o'ziga torta boshlaydi hamda shikastlanish jarayonlari yuzga keladi. Toshkent shahar tumanlar nisbatida qaraydigan bo'lsak bu ko'rsatkich yildan yilga o'sib bormoqda. Biroq tikilgan polietilen izolatsiyali kabellar yordamida o'tkazilgan yangi kabel liniyalarida shikastlanishlar deyarli kuzatilmagan. Bunga Bektemir tumani misol bo'la oladi.

Bugungi kunga kelib Bektemir tumanida ikkita tikilgan polietilen izolatsiyali umumiy uzunligi $L=1474,7$ metr bo'lgan ZIPS-1 va ZIPS-2 kabel liniyalari xizmat ko'rsatib kelmoqda. Bu liniyalar 2014- 2015 yillar oralig'da qurib bitkazib ishga tushirilgan [2].

Tikilgan polietilen izolyatsiyali kabellar uchun ishlab chiqarish texnologiyasi. Avvalombor, tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarni ishlab chiqarish texnologiyasini batafsil ko'rib chiqaylik.

"O'zaro bog'lanish" atamasi polietilenni molekulyar darajada qayta ishlashni anglatadi. Polietilen makromolekulalari orasidagi o'zaro bog'lanish jarayonida hosil bo'lgan o'zaro bog'lanishlar materialning yuqori elektr va mexanik xususiyatlarini, past gigroskopiklikni va ish haroratining kengroq diapazonini belgilaydigan uch o'lchovli tuzilmani yaratadi.

O'zaro bog'langan polietilen yuqori kuchlanishli kabellarni izolyatsiyalash uchun juda ham qulaydir. Zamonaviy texnologiyalardan foydalangan holda, polietilen izolyatsiyasini vulkanizatsiya qilish (o'zaro bog'lash) jarayoni neytral gaz muhitida 8-9 atmosfera bosimi va 285-400 °C haroratda kimyoviy usulda amalga oshiriladi. Kimyoviy reaksiya natijasida molekulyar polietilenning tuzilishi o'zgaradi va yangi molekulalararo aloqalar hosil bo'ladi, bu esa moddaning elektr va mexanik xususiyatlarining o'zgarishiga olib keladi. Shuni ta'kidlash kerakki, izolatsiya va elektr o'tkazuvchan ekranlar uch marta ekstruziya jarayonida qo'llaniladi, shundan so'ng barcha uchta qatlam bir vaqtning o'zida tikiladi. Ushbu texnologiya ekranlar va izolyatsiya o'rtasida yaxshi yopishishni, shuningdek, izolatsiyada va ekranlarning chegarasida gaz qo'shimchalarining yo'qligini ta'minlaydi.

1- jadval

Moy shimdirilgan qog'oz izolatsiyali va tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarning xarakteristik farqlari [1]

Kabellarning tavsifi	Tikilgan polietilen izolatsiyali kabel	Qog'oz izolatsiyali kabel
Uzoq muddatli ruxsat etilgan harorat, °C	90	85
Avariya rejimi uchun ruxsat etilgan harorat, °C	130	90
Kabel simidan oqib o'tayotgan qisqa tutashuv toki $I_{q.t.}$ uchun ruxsat etilgan maksimal harorat, °C	250	200
1 soniyada qisqa tutashuv toki uchun ruxsat etilgan oqim zichligi $I_{q.t.}$, A/mm ²		
Mis sim uchun:	144	101
Alyumin sim uchun:	93	67
Nisbiy o'tkazuvchanlik ϵ 20 °C haroratda	2,4	3,3
tgφ 20 °C haroratda	0,001	0,004

Shunday qilib, tikilgan polietilen bilan izolyatsiyalangan kabel ko'p jihatdan qog'ozli izolyatsiyalangan kabellardan ustundir, shuning uchun ulardan foydalanish elektr ta'minoti ishonchliligi nuqtai nazaridan ko'plab dolzarb muammolarni hal qilishga imkon beradi.

Yuqori kuchlanish kabellarining qiyosiy xarakteristikalari tikilgan polietilen izolatsiyali kabelning o'rniga deyarli barcha holatlarda qog'oz izolyatsiyalangan kabelni almashtirish mumkin ekanligini ko'rstadi.

Ushbu kabellar ko'plab afzalliklarga ega, masalan:

- yuqori o'tkazish qobiliyati;
- vazni yengilli, kichikroq diametr va 7,5 diametrgacha tashqi bukulish radiusi;
- polietilen izolyatsiyasi past zichlikka ega, nisbiy dielektrik o'tkazuvchanligining past qiymatlari va dielektrik yo'qotish omili;
- qiyin marshrutlarga yotqizish imkoniyati;
- 10 °C gacha bo'lgan haroratlarda maxsus jihozlardan foydalanmasdan o'rnatish;
- yotqizish narxini sezilarli darajada kamaytirish.

PVX izolyatsiyasida an'anaviy kabellar bilan solishtirganda ushbu kabellardan foydalanish quyidagilarga imkon beradi:

- teng quvvat oqimini uzatish uchun kichikroq kesimdagi o'tkazgichlardan foydalanish;
- kabel simlarining uzoq muddatli ruxsat etilgan isitish haroratini 90 ° C gacha oshirish;
- 250 ° C gacha qisqa tutashuvda kabel simlarining uzoq muddatli ruxsat etilgan isitish haroratini oshirish.

Shu bilan birga, tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarining qog'oz kabellardan asosiy afzalligi kam shikastlanishdir. Xorijiy manbalarga ko'ra, tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarining elektr uzilishlari ulushi qog'oz izolyatsiyali kabellarga qaraganda 2-3 daraja pastroqdir.

Asosan, kabellar bitta simli versiyada ishlab chiqariladi va har xil turdagi qobiqlardan foydalanish va muhrlanish imkoniyati kabelni yerga yotqizish uchun ham, kabel konstruktsiyalari uchun ham, shu jumladan guruhli yotqizish uchun ham foydalanishga imkon beradi. Qog'oz izolyatsiyali (IPI) bo'lgan kabellardan tikilgan polietilen izolyatsiyali kabellarga o'tish kabellarning texnik parametrlariga bo'lgan talablarini tobora ortib borayotgani bilan bog'liq. Shu nuqtai nazardan, tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarining afzalliklari aniq. Ushbu barcha afzalliklarga qaramay, polietilen izolyatsiyalangan kabellar joriy etish bosqichida yuqori kapital xarajatlarga ega. Shunga asoslanib, ularni qo'llash eng mos keladigan sohalarni ajratib ko'rsatish kerak. Buning uchun biz an'anaviy va tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarini qisqacha texnik va iqtisodiy taqqoslashni o'tkazamiz.

Yuqoridagi ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, bir xil tarmoqli kengligi va boshqa eng yaxshi parametrlar bilan tikilgan polietilen izolatsiyali kabelning narxi taxminan 60-70% ga yuqori. Bu qimmatroq materiallar va ishlab chiqarish texnologiyasi, radial kabel dizayni bilan materiallarning katta iste'moli bilan bog'liq. Ammo boshqa tomondan, bunday dizayn elektr maydonining bir xil taqsimlanishini va buning natijasida elektr quvvatining oshishini ta'minlaydi.

35 kV kabellar uchun ma'lumotlarni ko'rib chiqimiz. Bu kuchlanish sinfi uchun sektor o'tkazgichlari bo'lgan konstruktsiyadan foydalanish mumkin emasligi bilan

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

izohlanadi. Shuning uchun qog'oz kabellari alohida qo'rg'oshin bilan qoplangan simlar bilan ishlab chiqariladi, bu esa 10 kV kabellarga nisbatan narxning sezilarli darajada oshishiga olib keladi. Xuddi shu qismning qog'oz va polietilen izolyatsiyasi bilan kabellarning narxi taxminan teng. Biroq, 2-jadvaldan ko'rinib turibdiki, polietilen kabel moyli qog'ozli izolyatsiyali kabellarga nisbatan 40% ko'proq yuklanish qobiliyatiga ega [3,4,5].

2-jadval

35 kV kuchlanishli kabellarning solishtirma tavsiflari

Taqqoslash parametrlari	Qog'oz izolyatsiyalangan kabel AOSB 3x150-35 kV	Tikilgan polietilen izolyatsiyali bir simli kabel 3xAPvP 1x150/25-35 kV
Simning yuzasi kv. mm	150	150
Tuproqqa yotqizish paytida yuklama toki oqimi, A	250	Yassi/uchburchak 350/330
Maksimal ruxsat etilgan 1 sekundagi qisqa tutashuv oqimi, A	7.58	14,2
Qurilish uzunligi, m	300	300 dan 1000 gacha (bar. No. 22)
Minimum egilish radiusi, m	1,45	0,67
Og'irligi, kg/m	6400	1805(5415)
Ruxsat etilgan darajadagi farq, m	15	Cheklanmagan
Taqqoslash xarajatlari, %	100	100-105

Yuqoridagi qiyosiy tahlillarga asoslanib quyidagi xulosalarga ega bo'lishimiz umkin:

birinchidan, agar katta quvvatni o'tkazish kerak bo'lsa, masalan, quvvatni generatordan issiqlik elektr stantsiyasining kommutatorining shinalariga o'tkazish. Shu bilan bir qatorda, mis shinasini qurish, 8-12 ta qog'oz kabellarini yoki 630 yoki 800 mm² li tikilgan polietilen izolyatsiyali bir nechta kabellarni yotqizishni ko'rib chiqildi. Amaliyot shuni ko'rsatadiki, polietilen kabellardan foydalanish nafaqat kabel liniyalari hisobiga, balki qurilish qismining narxini pasaytirish orqali ham tejash imkonini beradi. Ta'mirlash vaqtida polietilen kabelni saqlash xarajatlari minimaldir.

ikkinchidan, polietilen kabelning o'tkazuvchanligi yuqoriroq va simning maksimal kesimi 800 mm² ga etishi mumkinligi sababli, katta kesimdagi bitta kabeldan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bu, shuningdek, ikkita parallel kabel o'rniga 240 mm² bo'lgan parallel kabellarni yotqizish holatlariga ham tegishli. 500 mm² kesimli bitta kabelni yotqizish maqsadga muvofiqdir (2-jadvaldagi ma'lumotlarga qarang) [6,7].

uchinchidan, yotqizish marshrutida katta darajadagi farq bo'lsa, moy qog'ozli kabellarini ishlatganda, simning izolyatsiyasi yuqori nuqtalarda quriydi, bu esa shikastlanishlarga olib kelishi mumkin. Bunday holda, qisqa darajalaridagi kichik farq ham kabelga ko'p zarar yetkazishi mumkin.

to'rtinchidan, tikilgan polietilen izolyatsiyali kabellardan foydalanish elektr ta'minotining ishonchliligi uchun maxsus talablar uchun zarurdir, chunki tikilgan polietilen izolatsiyali kabellarining shikastlanishi juda past.

Shunday qilib, yuqorida aytilganlarga asoslanib, kabel texnologiyasida yaxshilangan dielektrik va issiqlik xususiyatlariga ega bo'lgan polietilen izolyatsion materiallardan foydalanish kabel liniyalarining quvvatini sezilarli darajada oshirishi va shu bilan iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlash ishonchligini oshirishi mumkin.

Adabiyot

1. Якупова П. И. Сравнительный анализ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией // Современные инновации 2016. - № 3(5). - С. 26-28.

2. Yaхуууеуа Sh. A., Pirmatov N. B. O'zbekiston Respublikasi Toshkent shahar tumanlari kesimida 35 kV li kabel liniyalarining holatini tahlil qilish. // Education Research in Universal Sciences. July 2022. p.25-28.

3. Булатова В.М. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик современных высоковольтных кабелей // Вестник Казанского технологического университета 2012. - С. 45-48.

4. Yaхуууеуа Sh. A., Pirmatov N. B. 35 kV kuchlanishli kabel liniyalaridagi shikastlanishlarni Toshkent shahar tumanlari kesimida tahlil qilish. Scientific progress, Scientific journal, VOLUME #2, ISSUE #6, OCTOBER 2021. Uzbekistan. 98-101 betlar.

5. Yaхуууеуа Sh. A., Pirmatov N. B. //Ishlab chiqarishning texnik, muhandislik va texnologik muammolarining innovatsion yechimlari I qism. Xalqaro miqyosidagi anjuman. Jizzax-2022 yil. 124-125-betlar.

6. Анализ повреждений кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена в сети 35 кВ металлургического завода. М.В. Ильиных, Л.И. Сарин, А.И. Ширковец - Новосибирск. ООО «ПНП Болид». 2011.

7. Кадомская К.П., Качесов В.Е., Лавров Ю.А., Овсянников А.Г., Сахно В.В. Диагностика и мониторинг кабельных сетей среднего напряжения // Электротехника. – 2000. – № 11. – С. 48–51.

*Toshkent Davlat Texnika Universiteti
tomonidan taqdim etilgan*

Х.З. Назирова

Мақолада чексиз миқдордаги турли хил кириш параметрларидан фойдаланиш имкониятини таъминлайдиган статистик усуллар асосида энергия истеъмолини прогноз қилиш масалалари кўриб чиқилади, кириш параметрининг чиқиш натижасига таъсири функцияси эса ҳар қандай мураккабликда бўлиши мумкин-чиқиқли, статсионар эмас.

В статье рассматриваются вопросы прогнозирования электропотребления на основе статистических методов, которые предусматривают возможность использования большого количества различных входных параметров, а функция влияния входного параметра на выходной результат может быть любой сложности - нелинейной, нестационарной.

The article discusses the issues of forecasting power consumption based on statistical methods that provide for the possibility of using an unlimited number of different input parameters, and the function of the influence of the input parameter not the output result can be of any complexity-linear, non-stationary.

Введение. Основной задачей управления режимами ЭЭС является удовлетворение потребностей отраслей экономики и населения качественной электрической энергией и теплом в краткосрочной и долгосрочной перспективе при минимальных затратах, обеспечивая энергоэффективность их производства и потребления.

В условиях научно-технического прогресса и совершенствования энергетической системы государства прогнозирование приобретает значение одного из решающих научных факторов формирования стратегии и тактики энергетического развития.

Современные условия требуют дальнейшего совершенствования методологии и методики энергетических прогнозов. Чем выше уровень прогнозирования развития процессов энергетических, тем эффективнее планирование и управление этими процессами в обществе [1].

Эффективность решений по развитию инфраструктуры и повышению энергетической безопасности определяется объективностью и обоснованностью информации, полученной из прогнозов. Планирование развития энергетических систем в системе территориального планирования включает в себя как базовый элемент решение экономических вопросов развития территории в целом и ее энергетического комплекса, в частности. Как показывает практика, в процессах территориального планирования может широко использоваться весь имеющийся арсенал методов прогнозирования. Развитие информатики и средств вычислительной техники создает возможность расширения круга и совершенствования используемых методов прогнозирования.

Всю совокупность методов прогнозирования, в том числе в энергетике можно разделить на три основных класса:

статистические (экстраполяция тенденций), базирующиеся на распро-

странении выводов, сделанных в результате изучения состояния объекта прогнозирования в прошлом и настоящем, на его состояние в будущем;

экспертных оценок, основанный на статистической обработке мнений специалистов-экспертов об объекте прогнозирования;

моделирования, заключающегося в построении модели изучаемого объекта с целью анализа его поведения в будущем.

Статистические методы прогнозирования наиболее распространены и основываются на построении и анализе динамических рядов, характеризующих поведение системы или объекта прогнозирования в прошлом и настоящем, а также экстраполяции полученных тенденций на прогнозируемый период [2].

Исходной информацией для прогноза служат статистические данные. Статистические зависимости при этом аппроксимируются известными аналитическими функциями - *уравнениями регрессии*. Характер уравнения регрессии определяется на основе общих представлений о виде связи или путем прямого перебора известных функций:

линейной: $y = a + bt;$ (1)

параболы второй степени: $y = a + bt + c$ (2)

простой экспоненциальной (показательной): $y = abt;$ (3)

модифицированной экспоненциальной: $y = a - bc;$ (4)

степенной: $y = at ;$ (5)

где a , b и c — коэффициенты уравнений регрессии.

Коэффициенты, a , b и c в (1- 5) могут быть получены с использованием метода наименьших квадратов.

Энергетическое прогнозирование - это процесс разработки энергетических прогнозов, основанный на научных методах познания явлений в энергетике и использовании всей совокупности средств и способов прогностики [3]:

- *аналитически-расчетные прогнозы*, базируются на анализе динамики имеющихся статистических показателей и различных расчетов, осуществляемых с помощью: экстраполяции, интерполяции, обработки динамики статистических рядов показателей, корреляционных зависимостей, сопоставление показателей прогнозируемого объекта с другими наблюдениями;

- *планово-расчетные прогнозы*, наиболее типичным видом которых являются прогнозы выполнения плана. Основу планово-расчетных прогнозов, как правило, составляют различные варианты исходных событий;

- *прогнозирование с помощью статистических методов*. Оно основывается на достоверных исходных данных, имеющейся динамике развития определенной сферы исследований, ресурсов и т.п., выявлении количественных тенденций дальнейшего развития прогнозируемого объекта путем применения статистических методов: экстраполяции с различными ее модификациями, интерполяции, экспоненциального анализа и др.;

- *прогнозы, осуществляемые преимущественно на основе экспертных оценок специалистов*, в том числе с помощью различных видов анкетирования и их дальнейшей обработки, главным образом с помощью математической статистики;

- *прогнозы, разработка которых ведется одновременно статистическим и экспертным методами (комбинированные)* с использованием проектирования

моделей и применения обратной связи для устранения возможных ошибок в суждениях экспертов.

Использование прогнозов разных типов, их сочетание для создания суждений по развитию энергетической отрасли в будущем зависит от задач, которые ставятся при разработке того или иного прогноза, и в определенной степени определяет применяемые методы разработки прогнозов [5].

К наиболее распространенным группам формализованных методов прогнозирования относятся две подгруппы: *экстраполяции* и *моделирования*. Первая подгруппа содержит методы наименьших квадратов, экспоненциального сглаживания, скользящих средних, адаптивного сглаживания. Ко второй относятся структурное, сетевое, матричное и имитационное моделирование.

Экстраполяция — это метод научного исследования, который основан на распространении прошлых и настоящих тенденций, закономерностей, связей на будущее развитие объекта прогнозирования. В узком смысле слова экстраполяция — это нахождение по ряду данных функции других ее значений, находящихся вне этого ряда. При оценке параметров зависимостей наиболее распространенными являются метод наименьших квадратов, метод экспоненциального сглаживания временных рядов, метод скользящего среднего и другие.

Для оценки коэффициентов чаще остальных используется метод наименьших квадратов (МНК). Сущность МНК состоит в отыскании коэффициентов модели тренда, минимизирующих ее отклонение от исходного временного ряда. Недостаток данного метода состоит в том, что модель тренда жестко фиксируется, а это делает возможным его применение только при небольших периодах упреждения, т.е. при краткосрочном прогнозировании [10].

Метод экспоненциального сглаживания временных рядов является модификацией метода наименьших квадратов для анализа временных рядов, представляет собой усреднение значений временного ряда. Оно может быть выполнено по разным методикам: как средние арифметические или средние геометрические, по четному или нечетному количеству точек. Метод экспоненциального сглаживания применяется при кратко- и среднесрочном прогнозировании.

К адаптивным методам относятся методы Брауна, Хольта и Хольта-Уинтерса. В основе лежит модель рекурсивного гармонического процесса, предложенная Дж. Юлом.

Адаптивные методы позволяют учесть различную информационную ценность уровней временного ряда, степень «устаревания» данных. Это свойство адаптивных методов является существенным их достоинством для прогнозирования электропотребления.

Первоначальное построение прогнозной модели производится по нескольким первым наблюдениям объекта, составляется прогноз, который сравнивается с фактическими данными. По результатам прогноза происходит корректировка модели, затем составляется прогноз по следующим наблюдениям и так до исчерпания всех наблюдений. Адаптация осуществляется итеративно с получением каждой новой фактической точки ряда. Модель постоянно «впитывает» новую информацию, приспосабливается к ней и поэтому отражает тенденцию развития, существующую в данный момент. Оценивание коэффициентов адаптивной модели обычно осуществляется на основе рекуррентного метода. Таким образом можно получить точный прогноз на интервал больший, чем, например,

при использовании метода экспоненциального сглаживания [15]. Однако это справедливо лишь при очень длинных временных рядах. В настоящее время не существует методики, вычисляющей достаточный объем исходной информации для таких моделей, что значительно усложняет процесс их реализации.

Таким образом, экстраполяция в той или иной форме широко используется при прогнозировании тенденций развития энергетики. При формировании прогнозов с помощью экстраполяции, как правило, исходят из тенденций изменения тех или иных количественных характеристик объекта, которые состоят статистически.

Экстраполируются оценочные функциональные системные и структурные характеристики. Экстраполяционные методы являются одними из самых распространенных и наиболее разработанных среди всей совокупности методов прогнозирования.

Для анализа, моделирования и прогнозирования режимных параметров и характеристик ЭЭС целесообразно применять методы прямого построения моделей по данным наблюдений (статистики). Такие методы позволяют выявить неявные причинно-следственные связи и закономерности, скрытые в ретроспективных данных, и представить их в явной форме математических моделей.

Одним из наиболее распространенных методов получения прогнозов электропотребления является построение модели множественной регрессии на основе метода наименьших квадратов.

С помощью корреляционного анализа выявляется наличие статистически значимых связей между переменными и оценивается степень их тесноты. Парные коэффициенты корреляции характеризуют взаимосвязь между двумя выбранными переменными на фоне взаимодействия с остальными показателями и являются самыми распространенными показателями связи при статистическом анализе данных.

Затем переходят к математическому описанию конкретного вида зависимостей с использованием регрессионного анализа. Для этого подбирают класс функций, связывающий результирующий показатель Y и аргументы $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, отбирают наиболее информативные аргументы, вычисляют оценки неизвестных значений параметров уравнения связи и анализируют точность полученного уравнения [24].

Корреляционные и регрессионные методы учитывают влияние широкого набора входных параметров (метеорологические факторы, формирование утреннего и вечернего максимумов и т.п.) на выходные прогнозные данные электропотребления. Построение и оценка регрессионной модели осуществляется в Excel с помощью модуля регрессии пакета анализа данных.

Самым простым вариантом регрессионной модели является линейная регрессия. В основу положено предположение, что существует дискретный внешний фактор $X(t)$, оказывающий влияние на исследуемый процесс $Z(t)$, при этом связь между процессом и внешним фактором линейна, но на практике на процесс $Z(t)$ оказывают влияние целый ряд дискретных внешних факторов $X_1(t), \dots, X_S(t)$, такая модель называется множественной. Недостатком данной модели является то, что для вычисления прогноза процесса $Z(t)$ необходимо знать будущие значения всех факторов $X_1(t), \dots, X_S(t)$, что почти невыполнимо.

Корреляционные и регрессионные методы прогнозируют поведение переменной величины, исходя из временной взаимосвязи между ней и другой переменной, которая может быть выражена в виде статистической зависимости, называемой регрессией или корреляцией. Иначе говоря, эти методы дают возможность установить зависимость изменения одной переменной в случае изменения другой на определенную величину.

Регрессионный анализ исследует взаимосвязь зависимой переменной от других независимых, применяется при наличии связи между прогнозируемым процессом и какими-либо факторами, влияющими на него. Линейная регрессия обычно используется для долгосрочных прогнозов, но может также применяться для менее длительных прогнозов. В процессе работы естественно появление новой информации, что требует корректировки данных прогнозной модели. Такая корректировка является очень сложной и трудоемкой процедурой, требующей большого количества объемов вычислений. Это приводит к тому, что динамическое изменение характеристик прогнозной модели зачастую невозможно. Иногда, требования прогнозной модели к исходной информации для реальных наблюдений невыполнимы, в связи с чем прогноз оказывается неточен и неэффективен.

При построении статистической связи, исходя из регрессионного и корреляционного анализа, для оценки коэффициентов в уравнении регрессии используют статистическую выборку, а выбор вида функции и информативных признаков осуществляет сам исследователь.

Важным этапом прогнозирования является оценка адекватности модели. При разработке модели прогнозирования исходная информация делится на две части, одна из которых охватывает более ранние данные, а другая - более поздние. С помощью данных первой группы оцениваются параметры модели прогноза, а данные второй группы рассматриваются как фактические данные прогнозируемого показателя. После разработки модели прогнозирования полученный прогноз сравнивают с данными второй группы, для оценки адекватности разработанной модели, т.е. соответствия фактическим статистическим данным. Кроме того, когда разрабатывают несколько моделей прогнозирования, не всегда очевидно какая из них лучше, точнее. Для оценки точности моделей применяют различные критерии.

При работе с регрессионными моделями принят порядок проверки проводят выполняя следующие этапы:

первый этап – проверка статистической значимости полученных коэффициентов уравнения регрессии;

второй этап – проверка качества построенного уравнения регрессии;

третий этап – проверка свойств данных, выполнимость которых планировалась при оценивании уравнения.

Для того чтобы оценить значимость уравнения регрессии в целом используют критерий Фишера.

Для определения адекватности полученного уравнения регрессии исследуемому процессу, возможен один из следующих вариантов:

1. Построенная модель на основе F-критерия Фишера признается адекватной и все коэффициенты регрессии значимы. Такая модель считается эффективной, и ее можно использовать для принятия управленческих решений и со-

здания прогнозов.

2. Построенная модель по F-критерию Фишера в целом адекватна, но часть коэффициентов являются не значимыми. Модель пригодна для принятия некоторых решений, но для составления прогнозов такая модель использована быть не может.

3. Построенная модель по F-критерию Фишера в целом адекватна, но все коэффициенты регрессии являются не значимыми. Такая модель признается полностью неадекватной и ее отправляют на дополнительные исследования. На основе такой модели нельзя принимать решений и составлять прогнозы.

Критерию Фишера предшествует дисперсионный анализ. Дисперсионный анализ в математической статистике может использоваться как самостоятельный инструмент для проведения статистического анализа. В эконометрике дисперсионный анализ чаще применяют как дополнительное средство для исследования качества построенной регрессионной модели. Принцип основной идеи дисперсионного анализа: общая сумма квадратов отклонений переменной (у) от среднего значения раскладывается на две составляющие: «объяснимую» и «необъяснимую»:

$$\sum (y - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_x - \bar{y})^2 + \sum (y - \hat{y}_x)^2 ; \quad (6)$$

где \bar{y} - усредненное значение ряда рассчитываемых значений. Отношение объяснимой части дисперсии (переменной у) к общей дисперсии называется коэффициентом детерминации и используется для оценки качества полученного уравнения регрессии. Соотношение между объяснимой и необъяснимой частями общей дисперсии можно вычислить по альтернативной формуле:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_x - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_x)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} ; \quad (7)$$

Коэффициент детерминации R^2 может принимать значения в диапазоне от нуля до единицы $0 \leq R^2 \leq 1$. С помощью коэффициента детерминации R^2 определяют, какую часть дисперсии результативного результата (у)смогло объяснить уравнение регрессии. Чем выше R^2 , тем лучше уравнение регрессии описывает исходные данные и тем большая часть дисперсии результативного признака (у) объяснило уравнение регрессии. Приотсутствии в результате исследования зависимости между (у) и (х) коэффициент детерминации R^2 будет близок к нулю. Таким образом, коэффициент детерминации R^2 может применяться для оценки качества полученного уравнения регрессии. Использование коэффициента детерминации R^2 для оценки качества модели, имеет недостаток, если необходимо включение в модель нового фактора (даже малозначимого), то это автоматически увеличивает величину R^2 .

Анализ показывает, что ни один из существующих методов не может дать достаточной точности прогнозов на 20-25 лет. Применяемый в прогнозировании метод экстраполяции не дает точных результатов на длительный срок прогноза, поскольку этот метод исходит из прошлого и настоящего и, тем самым, накапливает погрешность. Такой метод дает положительные результаты на ближайшую перспективу прогнозирования тех или иных объектов (на 5-7 лет).

Метод группового учета аргументов (МГУА) отличается от рассмотренных тем, что, используя идею эвристической самоорганизации малой выборки экспериментальных данных, позволяет выбрать вид аппроксимирующей функции и входящих в нее аргументов.

Сущность метода заключается в постепенном отборе – переборе уравнений прогнозирования, отвечающих условиям требуемой точности результатов заданным экспериментальным данным. Выбор происходит из множества моделей-кандидатов по заданному критерию [31]. Другими словами, происходит направленная селекция по определенным критериям – точности прогнозирования, наибольшей устойчивости полученной модели и т.д.

Для построения математической модели оптимальной сложности с помощью МГУА исходная экспериментальная выборка делится на две последовательности – обучающуюся (А) и проверочную (В). Обучающуюся последовательность используют в обычном регрессионном анализе для оптимизации оценок коэффициентов уравнения с помощью критерия минимума средней квадратичной погрешности. Проверочная последовательность служит для выбора числа членов и конструкции уравнения регрессии минимизацией критериев селекции.

В основе МГУА лежит схема, по которой осуществляется шаговая селекция математических моделей процессов, приводящая, как правило, к выбору оптимальной, наилучшим способом описывающей рассматриваемый процесс. Алгоритм имеет вероятностный характер, т.е. вероятность получения лучшего решения растет с увеличением числа селекций. При этом выбор опорных функций метода является определяющим.

В качестве опорных функций, при формировании алгоритмов МГУА в основном используются следующие:

1. Различные степенные полиномы вида:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x^i ; \quad (8)$$

2. Гармонические или логистические:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_i}{1 + \exp(-x_i)} \right) ; \quad (9)$$

3. Экспоненциальные:

$$y = \sum_{i=0}^n a_i e^{\beta_i x} ; \quad (10)$$

где определяется характер решаемой задачи.

Применяются и другие, комбинированные виды функций, логические сети, размытые множества Заде и т.д.

Выводы. Важность и актуальность усовершенствования методов прогнозирования в условиях рыночных отношений в энергетике возрастает ввиду необходимости повышения точности планирования режимов ЭЭС, как при краткосрочном, так и долгосрочном планировании, повышении эффективности работы функционирования электрической системы в целом. Для этого необходимы соответствующие действия, в том числе:

1. Применение для краткосрочного и долгосрочного прогнозирования параметров режима и характеристик ЭЭС методов и принципов самоорганизации для ЭЭС Узбекистана. В этом плане особенно эффективно применение метода группового учета аргументов (МГУА), основой которого является использова-

ние естественной селекции – отбор оптимальной и единственной математической модели исследуемого процесса из множества моделей.

2. Сравнение МГУА с другими, использующими регрессионные методы моделями, в частности с методом наименьших квадратов (МНК), показывающее его высокую вычислительную эффективность, выражающуюся в повышении точности как краткосрочного, так и долгосрочного прогнозирования.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. –Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi , 2021.- 952 с.

2. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. -Т.: Fan va texnologiya, 2009. - 464 с.

3. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие. - Невинномысск, 2006. -221с.

4. Бирман Э.Г. Сравнительный анализ методов прогнозирования//НТИ. Сер.2 – 1986. – №1. – С. 11–16.

5. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. - Киев: Техника, 1975. -311 с.

6. Богданов В.А. Математическая модель оперативного прогнозирования активных нагрузок энергосистем. // Электрические станции, 1974. -№4. -С.22-24.

7. Лоуди Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. - М.: Мир, 1967.

8. Ивахненко А.Г., Крото Г.И., Чеберкус В.И. Многорядный алгоритм самоорганизации долгосрочных прогнозов. // Автоматика. 1980.№4. С. 28-47.

9. Коровин Г.Б., Малышев Е.А. Прогнозирование развития региональных энергетических систем // Экономика региона. 2011. -№ 2 (26). -С. 184–188.

10. Малышев Е.А., Сокол-Номоконов Э.Н., Сокол- Номоконов В.Э. Планирование и прогнозирование развития региональных энергетических систем: формирование вертикально-интегрированных территориально-отраслевых комплексов планирования и управления развитием региональных энергетических систем: монография: -Чита: ЧитГУ,2010. 133 с.

11. Романова О.В. Условия и факторы структурной модернизации региональной промышленной системы // Экономика региона. 2011. № 2 (26). С. 40–49.

12. Теоретико-методологические и информационные аспекты прогнозирования топливно-энергетического баланса региона / О.А. Романова [и др.]. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008. -265 с.

13. Авдеева Н.Л. О прогнозах потребления электроэнергии в условиях рыночной экономики России [Текст] / Н.Л. Авдеева, Ю.М. Коган, А.Е. Романов //Энергетик. – 2003. - № 7. – С.9-11.

14. Агеева Е.В. Проблемы прогнозирования потребности в электроэнергии как база для проектирования региональной электроэнергетики [Текст] / Е.В. Агеева, Ю.В. Власова, Ю.М. Коган //Энергетик. – 2008. - .36. – С. 9-11.

15. Анчарова Т.В. Анализ и нормирование электропотребления предприятий средней и малой мощности с многономенклатурным производством [Текст] / Т.В. Анчарова, А. П. Пищур // Вестник МЭИ. – 2003. – №2 . - С.35– 40.

16. Астахов Ю.Н. Использование методов теории подобия в прогнозировании выработки электроэнергии [Текст] / Ю.Н. Астахов, К.К. Зубков, В.Н. Кавченков, Т.Е. Пашенкова // Электричество. – 1993. - №3. – С.13 – 21.
17. Белан А.В. Пути и результаты совершенствования методов прогнозирования электропотребления [Текст] / А.В. Белан, В.И. Гордеев, А.В. Демура, И.И. Надтока // Промышленная энергетика . – 1993. - № 9 – 10. -С. 23-26.
18. Беркович М. М. Методология и опыт прогнозирования полезного отпуска электроэнергии потребителям [Текст] / М.М. Беркович, В.В. Косов, Е.В. Косова, Я.М. Уринсон, В.И. Эдельман // Энергетик. – 2003. – № 7. – С. 6 – 9.
19. Большов Л.А. Прогнозирование электропотребления: современные подходы и пример исследования [Текст] / Л.А. Большов, М.Ф. Каневский, Е.А. Савельева, В.А. Тимонин, С.Ю. Чернов // Известия Академии наук. Энергетика. – 2004. - №6. – С.74 – 93.
20. Борцов Ю.А. Использование современных подходов и методов для прогнозирования электропотребления [Текст] / Ю.А. Борцов, Н. Д. Поляхов, И. А. Приходько, Е.С. Анушина //Электротехника. – 2006. - № 8. – С.30-35.
21. Воронов И.В. Использование нейронной сети для краткосрочного прогнозирования электропотребления промышленного предприятия [Текст] / И.В. Воронов, Е.А Политов, В.М. Ефременко // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 6. – С. 71-73.
22. Жичкин С.В. Модели электропотребления на основе нейронных сетей [Текст] / С.В. Жичкин // Электрика. – 2003. - № 2 . – С. 37 – 39.
23. Бэнн Д.В. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки / Д.В. Бэнн, Е.Д. Фармер; Пер. с англ. – М.:Энергоатомиздат, 1987. – 568 с.
24. Льюис К.Д. Методы прогнозирования экономических показателей / К.Д. Льюис; пер. с англ.: Е. З. Демиденко. – М.:Финансы и статистика,1986. – 132 с.
25. Makridakis S. Forecasting: methods and applications. / S. Makridakis, S. Wheelwright, R. Hyndman. – N-Y.: John Wiley & Sons,1998. – 420 p.
26. Перова М.Б. Прогнозирование в региональной электроэнергетике / М. Б. Перова, И.В. Булавин, В.М. Санько. – Вологда. НПЦ «Легия», 2001. – 73 с.
27. Щуцкий В.И Анализ и прогнозирование энергопотребления в Мурманской области [Текст] / В.И. Щуцкий, Н.М. Кузнецов, Е.А. Токарева, С.А. Фищук // Промышленная энергетика. – 1998. – № 10. – С. 5 – 9.
28. Нифонтов И.Н. Ранговые оценки электропотребления промышленных предприятий [Текст] / И. Н. Нифонтов, М.Г. Ошурков, О.Е. Лагуткин // Электрика. – 2003. - № 12. – С. 18 – 22.
29. Суднова В.В. Повышение качества планирования электропотребления на основе статистического анализа [Текст] / В.В. Суднова, А.Е. Якимов // Электричество. – 1992. - № 5. – С.12 – 16.
30. Фокин Ю. А. Экспериментальное исследование вероятностно – статистических характеристик нагрузок в электро-снабжающей системе [Текст] / Ю.А. Фокин, И.С. Пономаренко, В. С.Павликов // Электричество. – 1983. – № 9. – С.9 – 15.
31. Владимирова Л. П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: Учебное пособие / Л. П. Владимирова. – М., 2001. – 308 с.

32. Жуков Д.М. К вопросу о методах и моделях прогнозирования нагрузки [Текст] / Д.М. Жуков // Электрика. – 2007. - № 12. – С. 37-39.
33. Олейников В.К. Нормирование энергозатрат электропотребления металлургического предприятия как средство снижения рыночных рисков [Текст] / С.С. Новиков // Вестник МЭИ. – 2008. № 1. – С. 91-97.
34. Гнатюк В.И. Моделирование процесса электропотребления объектов техноценоза [Текст] / В.И. Гнатюк // Электрика. – 2004. - №4. – С. 36-41.
35. Гнатюк В.И. Прогнозирование электропотребления техноценоза классическим методом [Текст] / В. И. Гнатюк, С.Н. Гринкевич // Электрика. – 2006. - № 1. – С. 30-33.
36. Гнатюк В.И. Тонкие процедуры рангового анализа по электропотреблению [Текст] / В. И. Гнатюк // Электрика. – 2007. - №12. С. 13 – 16.
37. Лагуткин О.Е. Прогноз годового электропотребления крупных техноценозов [Текст] / О.Е. Лагуткин, М. Г. Ошурков // Известия вузов. Электромеханика. – 1995. - № 1 – 2. – С. 115 – 117.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

**К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ, ПРОДЛЕНИИ СРОКА СЛУЖБЫ И
ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЫХ ВЭС ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЮ
СРОКА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Н.Р. Авезова, А.У. Камолиддинов

Ушбу мақола дунёда эксплуатация қилинаётган шамол электростанцияларининг (ШЭС) миқдорий ва сифат кўрсаткичлари тахлил қилинган, ҳамда фойдаланиши муддати тугагандан сўнг уларнинг ресурс кўрсаткичларини баҳолаш ва шу асосда уларни модернизация қилиши, хизмат муддатини узайтириши ва фойдаланишдан чиқариши тўғрисида қарор қабул қилиши учун восита таклиф этади.

Настоящая статья посвящена анализу эксплуатации в мире мощных ветровых электростанций (ВЭС). Приводятся их существующие и прогнозные показатели в различных странах. Предложен инструмент для оценки их ресурсных показателей после окончания сроков их службы, и на этой основе принятие решений по дальнейшим вариантам эксплуатации: модернизация, продление срока эксплуатации или утилизация.

This report gives an analysis of the practice of operating wind farms (WF) around the world, their quantitative and predictive indicators as far as they are concerned. Moreover, a tool is proposed for assessing their resource indicators after their service life and, on this basis, making a decision on their end-of-life management options: repowering, lifetime extension, and decommissioning.

Введение. В мире высокими темпами развивается использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), и при этом ветроэнергетика занимает все более солидные места. По прогнозным показателям Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) к 2050 году 86% мирового производства электроэнергии будет приходиться на возобновляемую энергетику, причем энергия ветра будет крупнейшим источником генерации - 35%, при установленной мощности более 6000 ГВт [1]. Несмотря на то, что Узбекистан обладает огромным ветроэнергетическим потенциалом мощностью более 520 ГВт на площади 17000 км², с потенциальным годовым производством электроэнергии 1,07 млрд. кВт*ч, использование энергии ветра в Узбекистане пока не достигло коммерчески значимого уровня [2,3]. По Указу Президента Республики Узбекистан, от 28.01.2022 г. № УП-60 планируется экономия до 3 миллиардов кубометров природного газа за счет доведения доли возобновляемых источников энергии к 2026 году до 25 %. Отметим, что планируется строительство 4 ГВт мощностей ВЭС [4-6], в том числе:

- 1,1 ГВт в Берунийском и Караузакском районах Республики Каракалпакстан, Гиждуванском и Пешкунском районах Бухарской области, в 2023 году;

- 0,5 ГВт в Томдинском районе Навоийской области, в 2024 году;

- в 2025-2026 годах вводится 4 ВЭС (общей мощностью не менее 2,4 ГВт) в Республике Каракалпакстан и других регионах.

Настоящее сообщение посвящено анализу и практике эксплуатации ВЭС по всему миру, а также их количественным и прогнозным показателям. Предложен инструмент для оценки ресурсных показателей после истечения сроков службы ВЭС и на этой основе - принятие решения по их модернизации, продлению сроков службы, либо вывод из эксплуатации.

Необходимо отметить, что в течение следующих трех десятилетий, благодаря постоянному совершенствованию технологий и снижению затрат, а также правильной политике и мерам поддержки руководством различных стран, рынок наземных ВЭС быстро растет. На рис. 1 показано количество наземных ВЭС, планируемых установить по всему миру к 2050 году.

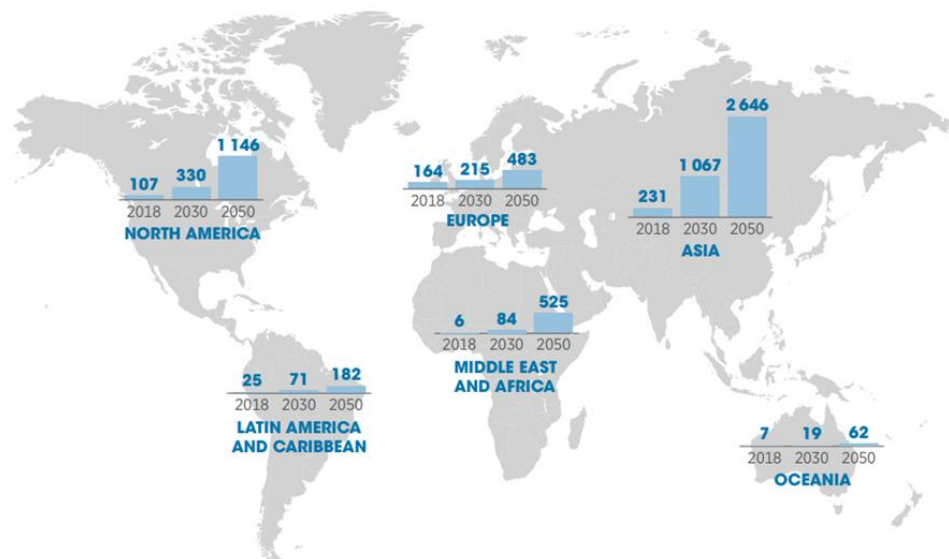


Рис. 1. Установленные и прогнозные показатели мощности (ГВт), и расположение глобальных наземных ВЭС к 2050 г. [7, 8]

Как видно из рис.1, Северная Америка и Азия будут по-прежнему лидировать в мире по установке наземных ВЭС, причем необходимо отметить, что на долю Азии приходится более половины (2 646 ГВт) мировых прогнозируемых мощностей (5 044 ГВт).

В табл. 1. представлены результаты Международных рейтингов мощностей наземных ВЭС, введенных в действие в 2019 и 2020 годах [7]. Как видно из табл. 1, страны Азиатско-Тихоокеанского региона (в основном Китай и Индия) лидируют по показателям, установленных на суше ВЭС. Из них почти 284 ГВт и более 336 ГВт вводятся в строй в 2019 и 2020 годах, соответственно; за ними следует Европа (в основном Германия) - с 183 ГВт и чуть более 194 ГВт за тот же период.

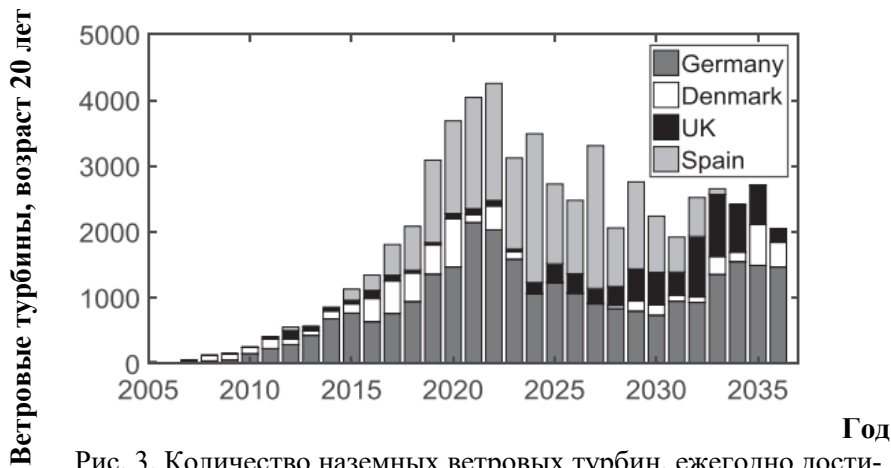
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Таблица 1

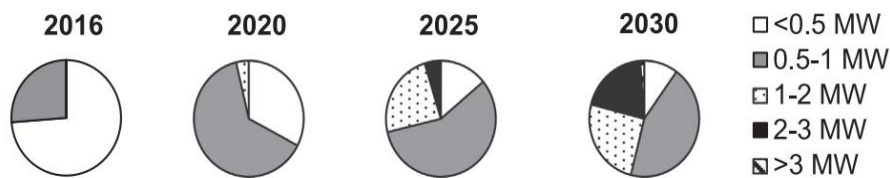
Международные рейтинги мощности наземных ВЭС, введенных в действие в 2019 и 2020 годах [7]

Страны	Новые установки 2019	Всего установок 2019 г.	Новые установки 2020	Всего установок 2020
Северная и Южная Америка	13 437	148 081	21 750	169 758
США	9143	105 436	16 193	122 275
Канада	597	13 413	165	13 577
Бразилия	745	15 452	2297	17 750
Мексика	1281	6215	574	6789
Аргентина	931	1604	1014	2618
Чили	526	2145	684	2829
другие страны находящийся в северной и южной Америки	214	3817	823	3920
Африка, Ближний Восток	830	6454	823	7 277
Египет	262	1452	13	1465
Кения	0	338	0	338
Южная Африка	0	1980	515	2465
Другие страны Африки	568	2684	295	3009
Азиатско-Тихоокеанский регион	28 626	283 780	52 546	336 286
Китай	24 292	229 384	48 940	278 324
Индия	2377	37 506	1119	38 625
Австралия	837	6199	1097	7296
Пакистан	50	1239	48	1287
Япония	274	3857	551	4373
Южная Корея	191	1420	100	1515
Вьетнам	160	388	125	513
Филиппины	0	427	0	427
Таиланд	322	1538	0	1538
Другие страны Азии	123	1822	566	2388
Европа	11 741	182 651	11 813	194 075
Германия	1078	53 913	1431	55 122
Франция	1336	16 643	1318	17 946
Швеция	1588	8804	1007	9811
Великобритания	629	13 617	115	13 731
Турция	686	8056	1224	9280
Другие страны Европы	6424	81 618	6718	88 185
Всего	54 634	620 967	86 932	707 396

Из приведенной выше информации видно, что введение в действие энергосистем на основе ВЭС значительно выросло и ожидается, что этот рост будет продолжаться. Однако значительное количество ветровых турбин, установленных в прошлом по всему миру стареет; ожидается, что это создаст проблемы, связанные с эксплуатацией ветровых турбин по окончании срока службы [8-12].



На рис. 3 показано количество ветровых турбин, достигающих окончания проектного срока службы в Германии, Испании, Дании и Великобритании. Поэтому в ближайшее десятилетие в этих странах появится значительный рынок спроса на решения об окончании срока службы ВЭС.



На рис. 4 показана мощность турбин, выработавших свой проектный ресурс в настоящее время и ближайшем будущем. В 2016 и 2020 годах турбины, рассматриваемые для продления срока службы, имели номинальную мощность ниже 1 МВт и 2 МВт, соответственно. К 2025 году более крупные турбины достигнут своего 20-летнего срока эксплуатации. В будущем ожидается, что технологии будут развиваться менее быстро, чем в прошлые десятилетия. Инновационные свойства существующих и потенциально модернизированных турбин с течением времени уменьшатся, что делает продление срока их службы более

привлекательным, что обязывает создание рынка решений по модернизации, продлению срока службы или выводу из эксплуатации.

Несмотря на поставленные в Европе цели по повышению использования ВИЭ к 2030 году, темы установки мощностей ВЭС не оправдываются, так как парк ветровых турбин стареет быстрее и выводится из эксплуатации. В 2016 г. почти 12% установленной мощности ветровых турбин в регионе пережили 15-летний срок службы [13,15]. Ключевыми рынками для модернизации в Европе являются Великобритания, Германия, Дания, Испания, Италия, Португалия и Франция. При этом ожидается, что показатели общей мощности ветровых турбин вырастет с 1-2 ГВт в 2017 г., до 5,5-8,5 ГВт к 2027 г. Доказательство ожидаемых прогнозов можно увидеть на примере реконструкция и модернизация ветровой электростанции Делабол в Великобритании (построена в 1991 г.) в период с 2009 по 2011 г., которое привело к более чем двукратному увеличению установленной мощности станции с 4 МВт до 9,2 МВт [15,16]. В США, например, более 1,3 ГВт наземных ветровых мощностей были частично заменены в 2018 году [15]. Ожидается, что к 2030 году срок службы четверти парка ветровых турбин в Северной Америке подойдет к концу [13].

В настоящее время в Дании, Германии и Испании имеется значительная мощность старых ВЭС, подключенных к сети, срок службы которых подходит к концу. В 2016 году около 3400 ветровых турбин в Германии прослужили более 20 лет [13]. Аналогичная ситуация в Дании, где уже в 2016 году ветровые турбины в количестве 1250 штук были старше 20 лет [13]. Также в 2016 году более 500 турбин отработали свой 20-летний срок службы в Испании. В 2020 г. этот показатель увеличился до более чем 4200 турбин [13]. В Великобритании только 19 береговых ВЭС по состоянию на ноябрь 2016 г. проработали более 20 лет [17]: из них одиннадцать все еще работают (за счет продления срока службы), две были выведены из эксплуатации, а пять проектов были модернизированы и переведены на новую мощность [13,14].

Заключение. В табл. 2 показаны индикаторы для принятия решений касательно модернизации, продления срока службы либо выводу из эксплуатации установленных ВЭС.

Предварительные расчеты показывают, что для создания ветропарка мощностью 4 ГВт необходима масса металла порядка 573 360 тонны, из которых 94% подлежат переработке после завершения срока эксплуатации, так как их основой являются различные металлы (сталь, алюминий и медь), остальные 6 % составляют полимерные композиционные материалы (пластик, резина, смазочные и охлаждающие материалы), которые трудно или невозможно переработать [18-23].

Учитывая, что средняя мощность наземных ветровых турбин, производимых в настоящее время, составляет в среднем 2,5-5 МВт [24-26], запланированные ветровые электростанции мощностью 4 ГВт к 2026 году могут быть спроектированы из турбин мощностью 4 МВт. Отметим, что по данным вторичных источников, строительство ВЭС мощностью 100 МВт в Берунийском районе, где ожидается полная интеграция в энергосистему страны, предусматривается установку 25 ветровых турбин, строительство 20-километровой линии электропередачи напряжением 220 кВ.

Таблица 2

Основные вопросы при принятии решений касательно модернизации, продления срока службы, либо выводу из эксплуатации установленных ВЭС

<i>Решения</i>	<i>Техническая осуществимость</i>	<i>Экономический</i>	<i>Законодательство</i>
<i>Модернизация</i>	Полная или частичная модернизации? Если частичная, будут ли совместимы новые и старые компоненты? Есть ли недостаток ветровых площадок в районе с хорошим ветровым потенциалом? Будут ли модернизированных турбины лучше интегрироваться в существующую энергосистему?	Достаточно ли капитала для проектирования системы, экологических оценок, соблюдения законодательства и общественного признания? Не слишком ли мал размер схемы, чтобы оправдать экономическую целесообразность модернизации? Существуют ли экономические субсидии и стимулы? Есть ли у вас стратегия на случай, когда они закончатся?	Есть ли в стране правила модернизации, например, есть ли правила территориального планирования, которые определяют минимальное расстояние между ветроустановками и населенными пунктами? Нужно ли пересматривать разрешительный процесс?
<i>Продления срока службы</i>	Безопасна ли конструкция турбины для продолжения работы? Есть ли у турбины остаточные конструктивные резервы из-за ветровых условий на площадке для работы турбины? Какой объем данных доступен из системы SCADA по предыдущей работе турбины?	Каково потенциальное воздействие на окружающую среду при продлении срока службы? В какой степени продление срока службы турбины повысит окупаемость инвестиций? Каковы соответствующие затраты на аналитическую и основанную на данных оценку остаточного срока полезного использования турбины? Какая стратегия продления срока службы дает вариант с наибольшей ценностью, которая соответствует инвестиционной цели при приемлемом уровне риска?	Коммунальный договор, не коммунальный договор или открытый рынок? Какой срок договора купли-продажи электроэнергии может быть обеспечен? Существуют ли в стране правила, касающиеся проверки безопасности для дальнейшей эксплуатации ветровых турбин? Имеются ли в вашей стране соответствующие руководства, стандарты или программные инструменты для продления срока службы?
<i>Выводы из эксплуатации</i>	Каков средний возраст ветровой электростанции? Насколько хорошо работает ВЭС? Каково состояние ветровой турбины?	Выгодно ли продолжать эксплуатировать ветрогенератор? Есть ли предприятия по переработке? Достаточно ли лопастей ветровых турбин, чтобы предприятие по переработке было экономически целесообразным? Каков налог на захоронение отходов? Какова ценность материалов от переработанных ветровых турбин?	Может ли ветряк продолжать свою работу там, где он установлен? В какой степени достижение корпоративных целей в области устойчивого развития влияет на процесс вывода из эксплуатации?

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Таким образом, если учесть, что в Узбекистане крупные ВЭС начинают строиться, уже сейчас необходимо, используя опыт развитых стран по управлению отходами ветровых турбин после окончания срока их службы, принять необходимые регулирующие нормативы. При этом необходимо отметить, что с экологической точки зрения, вопрос внедрения стратегии управления и регулирования отходами ВЭС достаточно востребован, так как в Узбекистане объемы отходов будут расти после 2045 года, и решения по части касающейся дальнейшей эксплуатации или утилизации ВЭС, должны быть включены в расходы крупных проектов их строительства.

Литература

1. IRENA, 2019 <https://www.irena.org/DigitalArticles/2019/Apr//media/652AE07BBAAC407ABD1D45F6BBA8494B.ashx>.
2. Zakhidov, R.A., Kremkov, M.V. The wind power potential of Uzbekistan. *Appl. Sol. Energy* 51, 336–337 (2015). <https://doi.org/10.3103/S0003701X15040210>.
3. Zakhidov R.A. and Lutpullaev S.L. Global trends in alternative energies and problems in Uzbekistan for the development of renewable energy sources, *Appl. Solar Energy*, 2015, vol. 51, no. 1, p. 50.
4. <https://lex.uz/ru/docs/5841063>.
5. <https://lex.uz/docs/6201421>.
6. <https://lex.uz/uz/docs/6189000>.
7. GWEC-Global-Wind-Report-2021.
8. Andersen N, Eriksson O, Hillman K, Wallhagen M. Wind Turbines' End-of-Life: Quantification and Characterisation of Future Waste Materials on a National Level. *Energies*. 2016; 9(12):999. <https://doi.org/10.3390/en9120999>.
9. Mishnaevsky LJr. Sustainable End-of-Life Management of Wind Turbine Blades: Overview of Current and Coming Solutions. *Materials (Basel)*. 2021 Feb 27;14(5):1124. doi: 10.3390/ma14051124. PMID: 33673684; PMCID: PMC7957806.
10. K. Ortegon, L. F. Nies and J. W. Sutherland, "Preparing for end of service life of wind turbines," *Journal of Cleaner Production*, vol. 39, pp. 191-199, 2013.
11. N. Tazi, J. Kim, Y. Bouzidi, E. Chatelet and G. Liu, "Waste and material flow analysis in the end-of-life wind energy system," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 145, pp. 199-207, 2019.
12. Staffell I and Green R 2014 How does wind farm performance decline with age? *Renewable Energy* 66 775-786.
13. L. Ziegler, E. Gonzalez, T. Rubert, U. Smolka and J. J. Melero, "Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 1261-1271, 2018.
14. Everoze life extension assessment framework - LEAF, (<http://www.everozeleaf.com>), 2016.
15. IRENA_Future_of_wind_2019.
16. WindEurope, 2017a.
17. UKWED. Renewable UK wind energy database, (<http://www.renewableuk.com/page/UKWEDSearch>); 2016.

18. Carrara, S., Alves Dias, P., Plazzotta, B. and Pavel, C., Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, EUR 30095 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-16225-4, doi:10.2760/160859, JRC119941.
19. Beauson J and Brøndsted P (2016) Wind turbine blades: An end-of-life perspective. In: Ostachowicz W, McGugan M, Schroeder-Hinrichs J, et al. (eds) MAREWINT: New Materials and Reliability in Offshore Wind Turbine Technology. Springer Open, pp. 421–432.
20. BBF Associates and Kundig, K. J. A. (2011), 'Market Study: current and projected wind and solar renewable electric generating capacity and resulting copper demand', submitted to the Copper Development Association Inc. Retrieved from <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2017/03/Projectedwind-solar-copper-demand-1.pdf>.
21. European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Blengini, G., El Latunussa, C., Eynard, U., et al., Study on the EU's list of critical raw materials (2020): final report, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/11619>.
22. Vestas (2018b), 'Material Use—turbines', February 2018.
23. Vestas (2017), 'Life cycle assessment of electricity production from an on-shore V136-3.45 MW wind plant', Denmark, Vestas Wind Systems A/S.
24. P. Breeze, «Chapter 2 - The power generating technologies, » в The Cost of Electricity, P. Breeze, Ред., Elsevier, 2021, pp. 9-32.
25. Mayank Chetan, M. Sadman Sakib, D. Todd Griffith, Abhineet Gupta, Mario A. Rotea. Design of a 3.4-MW wind turbine with integrated plasma actuator-based load control., Wind Energy, 30 September 2021. <https://doi.org/10.1002/we.2684>.
26. ENERGY.GOV, Land-Based Wind Market Report (2022) https://www.energy.gov/sites/default/files/202208/land_based_wind_market_report_2022.pdf.

*Представлено Национальным научно-исследовательским
институтом возобновляемых источников энергии
при Министерстве энергетики Республики Узбекистан*

UDK 620.92

MARKOV ZANJIRI, YA'NI O'TISH MATRITSALARI YORDAMIDA SHAMOL TEZLIGINI BASHORAT QILISH USULI ORQALI HOSIL QILINGAN SHAMOL TEZLIGINING SHAMOL GENERATORINING QUUVAT KO'RSATKICHLARIGA TA'SIRI

**I.A. Yuldoshev, M.Y. Hasanov, D.S. Gafurov, T.R. Jamolov,
J.CH. Eshonqulov**

Bugungi kunda shamol generatori (ShG) yetuk, mo'l-ko'l va ekologik toza energiya ishlab chiqarish texnologiyasi bo'lib, elektr energiyasiga bo'lgan talabning katta qismi shamol tomonidan ta'minlanmoqda. Biroq, shamol tezligining noaniqligi energiya tizimlarini rejalashtirish va ishlatish uchun turli qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi. Ushbu maqolada, Markov zanjiri, ya'ni o'tish matritsalarini yordamida shamol tezligini bashorat qilish usuli orqali hosil qilingan shamol tezligining ShG ning quvvat ishlab chiqarishiga ta'siri ko'rib chiqilgan bo'lib. Mavzuni o'rganishda shuni ta'kidlash kerakki, ushbu uslub haqiqiy qiymatlarga juda yaqin bo'lgan ma'lumotlarni yaratish (bashorat qilish) uchun foydalidir. Ushbu maqolada keltirilgan metodologiya va natijalar ShG ning energiya ishlab chiqarishini baholashga intilayotgan rejalashtiruvchilar yoki ishlab chiquvchilar uchun foydali ma'lumotlarni taqdim etish uchun mo'ljallangan.

Сегодня ветротурбинная генерация (ВТГ) представляет собой зрелую, распространенную и экологически чистую технологию производства энергии, и часть спроса на электроэнергию обеспечивается за счет ветра. Однако неопределенность прогнозирования скорости ветра создает различные проблемы при планировании режимов и эксплуатации энергосистем. В данной работе представлен метод цепей Маркова, иначе говоря, метод матрицы переходов для прогнозирования скорости ветра и ее влияния на выработку электроэнергии ВТГ. Следует отметить, что этот метод необходим для прогнозирования генерации, так как полученные данные прогноза генерации очень близки к реальным значениям. Методология и результаты, представленные в данной статье, предназначены для получения полезной информации планировщикам и разработчикам, оценивающим выработку энергии от ВТГ.

In recent years, the use of renewable energy sources (RES) by many power grid companies around the world has increased significantly. The trend towards using RES is mainly due to environmental concerns and rising fuel costs associated with conventional electricity generation. Wind energy is a proven source of energy generation among RES and contributes positively to the global, social and economic environment. Today, the wind turbine generator (WTG) is a mature, abundant and environmentally friendly energy generation technology, and most of the electricity demand is supplied by wind. However, wind speed uncertainty creates various challenges for the planning and operation of power systems. In this paper, the Markov chain method, in other words, the transition matrix method for forecasting wind speed and its impact on power generation by WTG, is presented. While studying the topic, it should be noted

that this method is useful for generating (predicting) data very close to the actual values. The methodology and results presented in this paper are intended to provide useful information for planners or developers seeking to estimate the energy production of WTG.

1. Kirish. So'nggi yillarda butun dunyo bo'ylab ko'plab elektr tarmoqlari kompaniyalari tomonidan qayta tiklanadigan energiya manbalaridan (QTEM) foydalanish sezilarli darajada oshdi. Shamol, quyosh va biomassa an'anaviy yoqilg'i o'rnini bosadigan asosiy uchta qayta tiklanadigan energiya manbalaridir. Ushbu turdagi energiyaning afzalliklaridan biri atmosferaga CO₂ ishlab chiqarishni kamaytirishdir [1-2]. Aytish mumkinki, global isish ham an'anaviy manbalar CO₂ ishlab chiqarishga boy bo'lganligi sababli energiya ishlab chiqarishning muqobil manbalarini izlash sabablaridan biridir [1-5].

Shamol energetikasi qayta tiklanadigan manbalar orasida energiya ishlab chiqarish uchun tasdiqlangan manba bo'lib, global, ijtimoiy va iqtisodiy muhitga ijobiy hissa qo'shadi. Shamol energetikasi bozori so'nggi yillarda rivojlanmoqda va kelgusi davrda iqtisodiyotning muhim qismi hisoblangan ko'plab shamol turbina qurilmalari qurilishi kerak. Shamol energetikasi sohasining bunday jadal rivojlanishi ham ilmiy-tadqiqot ishlari tufaylidir. Sohadagi muammolar orasida shamol tezligini tushunish va olingan bilimlarni sanoatda qo'llash kiradi. Shamol stansiyalarida shamol harakatini bilish bugungi energiya tizimlari uchun, ayniqsa dasturlash va ishlatish vositalarida juda muhim, shamol energiyasi kelajakdagi energiya manbalarining muhim qismiga aylanadi [4-5].

Bunga, shamol mos keladigan joylarda shamol turbinalari o'rnatish orqali erishish mumkin. Biroq, shamol tezligining noaniqligi, bu haqiqatga mos keladigan energiya tizimlarini rejalashtirish va ishlatish uchun turli xil qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi. Shu sababli, shamol tezligini bashorat qilish va tahlil qilish uy uchun shamol turbinasi (mikro avlod) mos keladimi yoki yo'qmi yoki energiyaga bo'lgan ehtiyojni to'ldirishi mumkin bo'lgan shamol stansiyalariga investitsiya qilish kerakmi yoki yo'qmi degan qarorga olib kelishi mumkin [4-6].

Ushbu maqolada ShG quvvatining o'zgaruvchanligini va ekvivalent majburiy uzilish darajasi (EMUD) hisobga olgan holda shamol elektr stantsiyasining energiya ishlab chiqarish modelini qurishning analitik usulini tavsiflaydi.

2. ShG ning shamol energiyasini ishlab chiqarish modeli: ShG yordamida energiya ishlab chiqarish meteorologik sharoitlarga juda bog'liq. ShG ning energiya ishlab chiqarish modeli quyidagi qismlarga bo'linadi [6]:

2.1 Shamol tezligini modellashtirish

2.1.1 Markov zanjiri usuli

Ushbu maqolada shamol tezligini bashorat qilish uchun Markov zanjiri usuli (MZU) ishlatilgan. Ushbu usul shamol tezligining stokastik tabiati tufayli, shamol tezligi holatlari o'rtasida paydo bo'lish va o'tish ehtimolini hisobga olgan holda tanlangan [3-4,7-8]. Bunga qo'shimcha ravishda, Markov zanjiri usuli paydo bo'lish ehtimollik bilan bir qatorda chiqish quvvati holatlari o'rtasidagi o'tish ehtimollikni ham ko'rib chiqadi va shuning uchun ehtimollik taqsimoti funktsiyasi (ETF) bilan solishtirganda shamol tezligining intervalgacha harakatini batafsilroq qamrab oladi. Markov jarayoni shamol resurslarini tahlil qilish uchun ishlatilgan bo'lib, shamol

tezligi holatlari o'rtasidagi vaqtinchalik munosabatlarni o'tish ehtimollik matritsasi yordamida ko'rib chiqish afzalligini ta'kidlab, shamol tezligini modellashtirish uchun ETF -dan foydalanilganda yuqorida aytib o'tilgan afzallik e'tibordan chetda qoladigan masala ekanligini [3-4,9] adabiyotdan ko'rishimiz mumkin.

MZU stokastik yondashuv bo'lib, bu tizim holatining ehtimolligini oldingi holatidan baholay oladi. Shamol tezligini bashorat qilishda MZU dan foydalanganda, birinchi navbatda, tarixiy (o'lchangan) ravishda yig'ilgan shamol tezligiga ega bo'lish kerak. Ushbu tadqiqotda bashorat qilish uchun bir yillik soatlik yig'ilgan tarixiy ma'lumotlardan foydalangan.

MZU yordamida tarixiy o'lchangan ma'lumotlardan yangi shamol tezligini bashorat qilish uchun asosiy qadamlar quyidagilardan iborat [6,10]:

1. Shamol tezligining tarixiy (o'lchangan) ma'lumotlarini to'plang va bu shamol tezligini, shamol tezligining amplitudasiga qarab diskret holatlar (states) soniga ajrating.

2. Holat tasniflangandan so'ng, t vaqtdan $(t+1)$ vaqtga l holatdan boshqa m holatga o'tish ehtimollik p_{lm} ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$p_{lm} = \frac{n_{lm}}{\sum n_{lm}}; \quad l, m = 1, 2, \dots, s; \quad l \neq m, \quad (1)$$

bu yerda, n_{lm} l holatdan m holatiga o'tish soni

$s \times s$ matritsaning o'tish ehtimollik matritsasi (O'EM) o'tish ehtimollik p_{lm} bilan quyidagicha tuzilgan:

$$P = (p_{lm}) = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

3. TPM yig'ilgan (cumulative) ehtimollik matritsasi (YEM) ga aylantiriladi.

Agar k -holatda l -qatorida o'tish ehtimoli P_{lk} mavjud bo'lsa, u holda yig'ma ehtimollik P_{lk} bo'ladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{lk} = \sum_{m=1}^k p_{lm}; \quad l, k = 1, 2, \dots, s. \quad (3)$$

4. 0 dan l gacha bo'lgan tasodifiy N sonlarni yarating.

5. Tasodifiy boshlang'ich holatni tanlang va l sifatida belgilang.

6. Agar tasodifiy yaratilgan N qiymati YEM ning l -qator elementidan ($N \leq p_{il}$) kichik yoki teng bo'lsa, u holda l keyingi holat bo'ladi. Agar N YEM ning l -qatoridagi l -elementdan kattaroq bo'lsa va bir xil satr uchun dastlabki ikkita element yig'indisidan kichik yoki unga teng bo'lsa, keyingi holat 2 bo'ladi.

7. YEM ning l holatidan yangi m holatiga o'tish shamol tezligiga quyidagicha o'tkazilishi mumkin:

$$v_s = v_{m-1} + N_l(v_m - v_{m-1}); \quad (4)$$

bu yerda, v_m va v_{m-1} shamol tezligining yuqori va pastki chegaralari, N_l tasodifiy yaratilgan sonidir.

Joriy holatni dastlabki holat sifatida hisobga oling va (6) va (7) qadamlarni har bir tasodifiy raqam uchun takrorlash orqali istalgan uzunlikdagi shamol tezligini yaratish (bashorat qilish) mumkin.

2.1.2 Weibull usuli. Haqiqiy va Bashorat qilingan shamol tezligining oldindan belgilangan vaqt davomida stokastik harakatini baholash uchun Weibull ehtimollik taqsimoti funksiyasi (ETF) -dan foydalanamiz [11]. Weibull ETF shamol tezligi v_t (m/s) uchun mos keladigan vaqt oralig'i 't' quyidagicha hisoblanadi :

$$f_v(v^t) = \frac{k^t}{c^t} * \left(\frac{v^t}{c^t}\right)^{k^t-1} * \exp\left(-\left(\frac{v^t}{c^t}\right)^{k^t-1}\right) \quad c^t \neq 1; \quad k^t \neq 0 \quad , \quad (5)$$

bu vaqt oralig'idagi shakl tezligi (k^t) va masshtab tezligi (c^t) quyidagicha ifodalanadi:

$$k^t = \left(\frac{\sigma^t}{\mu_v^t}\right)^{-1.086} ; \quad (6.1)$$

$$c^t = \frac{\mu_v^t}{\Gamma(1+1/k^t)} ; \quad (6.2)$$

bu yerda, σ^t va μ_v^t - standart og'ish va o'rtacha shamol tezligining qiymnati mos keladigan "t" vaqt oralig'ida.

2.2. ShG ning quvvat ishlab chiqish modeli. Hosil (bashorat) qilingan va tarixiy (haqiqiy) shamol tezligi ShG tomonidan ishlab chiqarilgan quvvatni olish uchun ishlatiladi. Soatlik quvvat quyidagi tarzda hisoblanadi [6,11]:

$$P_{ShT} = \begin{cases} 0 & v_s \leq v_{boshlang'ich} \quad or \quad v_s \geq v_{chiqish} \\ (A * v_s^3 + B * P_{nom}) & v_{boshlang'ich} \leq v_s \leq v_{nom} \\ P_{nom} & v_{nom} \leq v_s \leq v_{chiqish} \end{cases} ; \quad (7)$$

bu yerda P_{nom} - ShG ning nominal quvvati; $v_{chiqish}$ - shamol tezligining o'rnatilgan chegaradan chiqib ketish tezligi; $v_{boshlang'ich}$ - shamol tezligining o'rnatilgan chegaraga kirish tezligi va v_{nom} - mos ravishda nominal shamol tezligi. A va B konstantalari quyidagicha aniqlanadi:

$$A = \frac{P_{nom}}{(v_{nom}^3 - v_{boshlang'ich}^3)} ; \quad (8.1)$$

$$B = \frac{v_{boshlang'ich}^3}{(v_{nom}^3 - v_{boshlang'ich}^3)} ; \quad (8.2)$$

ShG ishlashi paytida uzluksiz quvvat ishlab chiqishi mumkin emas, chunki u shamol tezligining stokastik tabiati bilan harakat qiladi. ShG yo'qligi yoki unga tenglashtirilgan EMUD quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$Ekvivalent _ Quvvat _ ko'rsatkichi (EQK) = \frac{Haqiqiy quvvat chiqishi}{Minimal quvvat chiqishi} ; \quad (8)$$

$$EMUD = p_o + \sum \frac{t_l EQK}{T}; \quad (9)$$

bu erda, p_o -umumiy quvvat uzilish ehtimoli, l - vaqt oralig'i (1 soat) t_l , T - tadqiqotning umumiy vaqti.

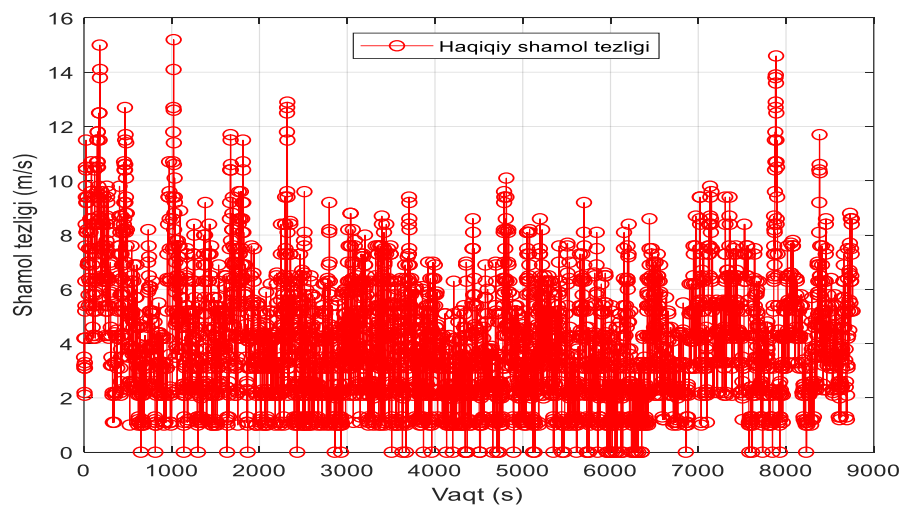
ShG uchun olingan EMUD shamol tezligi asosida hisoblab chiqilgan va bu yerda ShG ning hech qanday mexanik majburiy uzilish darajasi (MMUD) ko'rib chiqilmagan.

3. Simulyatsiya natijalari va muhokamasi.

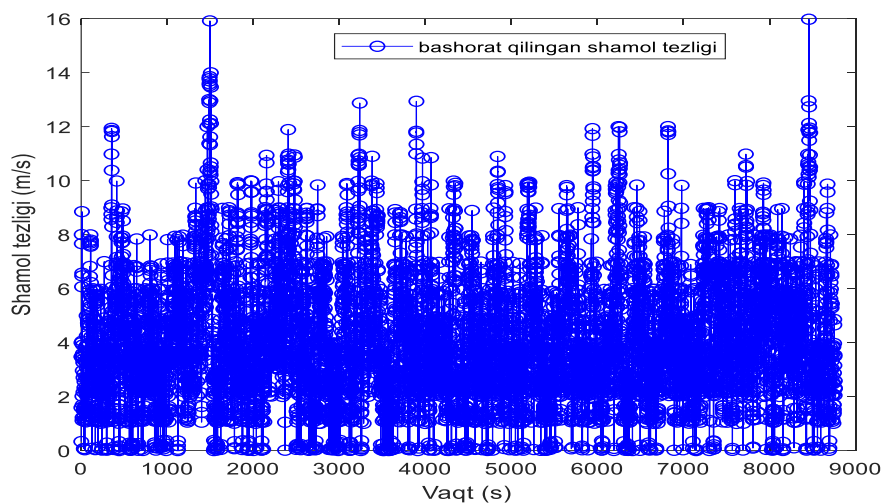
Ushbu bo'limda MZU yordamida hosil qilingan shamol tezligi va tarixiy shamol tezliklarining shamol energiyasini ishlab chiqarishga ta'siri va EMUD ga ta'siri tahlil qilinadi. ShG ning EMUD ko'rsatkichi 0,7812 bo'lib, hosil qilingan shamol tezligi uchun hisoblangan va mexanik ShTG ishdan chiqishi sababli MMUD 0 dan 10 foizgacha o'zgarib turadi. Bundan tashqari, ShTG ning texnik xarakteristikasi 1-jadvalda keltirilgan. 1- va 2-rasmlar bir yil davomida o'lchangan (haqiqiy) shamol tezligi va MZU yordamida bir yil uchun bashorat qilingan shamol tezliklari grafiklarini tasvirlaydi.

1-jadval

ShG ning texnik xarakteristikasi.	
Nomi	Qiymati
ShG ning nominal quvvati, P_{nom}	2 MW
Chiqish tezligi, $v_{chiqish}$	15 m/s
Boshlang'ich tezligi, $v_{boshlang'ich}$	3 m/s
Nominal shamol tezligi, v_{nom}	8 m/s

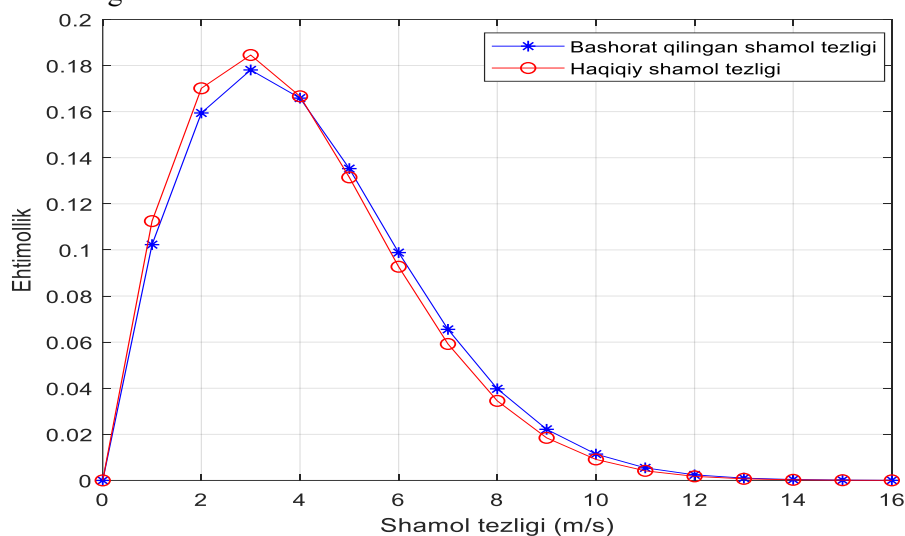


1- rasm. Bir yil davomida o'lchangan (haqiqiy) shamol tezligi



2- rasm. MZU yordamida bashorat qilingan shamol tezligi

Yuqoridagi ikkita rasmdan biz taklif qilayotgan MZU qanchalik bashorat qilish uchun ishonchli ekanligini baholash uchun biz Weibull ehtimollik taqsimoti funksiyasi (ETF) -dan foydalanamiz. 3-rasmda hosil (bashorat) qilingan shamol tezligi ehtimollik va tarixiy (haqiqiy) o'lchangan shamol tezligi ehtimollikining solishtirilgani ko'rsatilgan.



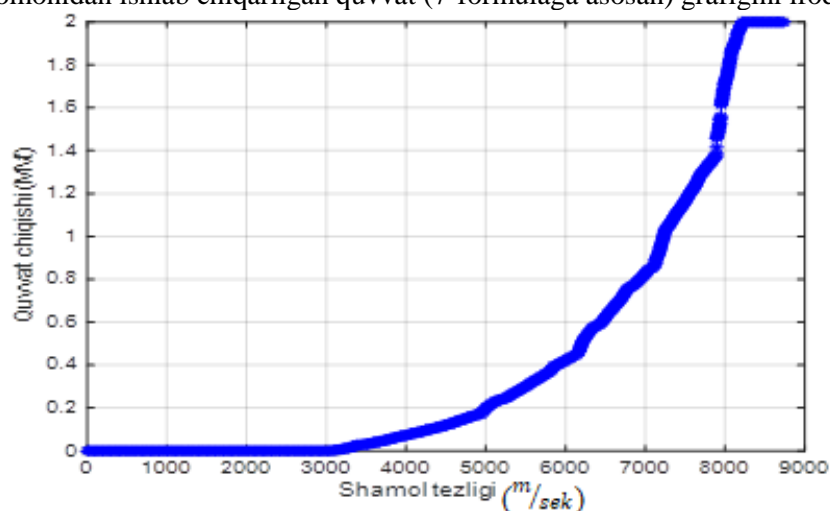
3- rasm. Hosil (bashorat) qilingan va tarixiy (haqiqiy) shamol tezligi ehtimollik (taqsimoti)

Ushbu rasmdan ko'rishimiz mumkinki biz taklif qilayot usul haqiqiy shamol tezligiga juda yaqin bo'lan shamol tezliklarini bashorat qila oladi.

Haqiqiy o'lchangan shamol tezliklarida eng kichik qiymat 0 (m/s) va eng yuqori qiymat 15.2 (m/s) bo'lgan bo'lsa bashorat qilingan shamol tezliklarida eng kichik qiymat 0 (m/s) va eng yuqori qiymat 15.9975 (m/s) ni ko'rsatgan.

АЛТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

4-rasmda bashorat qilingan shamol tezliklari yuqorida berilgan xarakteristikali ShG tomonidan ishlab chiqarilgan quvvat (7-formulaga asosan) grafisini ifodalaydi.



4-rasm. Hosil (bashorat) qilingan shamol tezligidan foydalangan holda ShG ning quvvat chiqish grafigi

4-rasmdan ko'rishimiz mumkinki shamol tezligi qachonki boshlang'ich shamol tezligiga erishganda ShG quvvat ishlab chiqarishni boshlaydi va nominal shamol tezligiga erishganda ShG ning o'rnatilgan quvvatni ishlab chiqarishini boshlaydi. Bundan tashqari, agar shamol tezligi ShG ning chiqish tezligidan oshib ketadigan bo'lsa ShTG quvvat ishlab chiqarishni to'xtatadi.

2-jadvalda taklif qilinayotgan metodning qanchalik haqiqiy shamol tezligi qiymatga yaqinligini 10 marta tasodifiy shamol tezligini MZU yordamida yaratish orqali MZU ning EQK ga nisbatan statistik tahlili keltirilgan.

2-jadval

EQK ning statistik tahlili

Shamol tezligi	Eng yaxshi natija	O'rtacha qiymat	Eng yomon natija	Standard og'ishi
MZU	19.31	19.77	21.88	1.21957
Haqiqiy	19.26	19.26	19.26	0

4. Xulosa. Ushbu maqolada Markov zanjiri, ya'ni o'tish matritsalarini yordamida shamol tezligini bashorat qilish usuli orqali hosil qilingan shamol tezligini shamol generatori (ShG) ning quvvat ishlab chiqarishga ta'siri ko'rib chiqilgan bo'lib. Olingan natijalardan shuni ta'kidlash kerakki, ushbu uslub haqiqiy qiymatlarga juda yaqin bo'lgan shamol tezliklarini yaratish (bashorat qilish) uchun foydaliligini ko'rishimiz mumkin. Bundan tashqari, Weibull ehtimollik taqsimoti funktsiyasi (ETF) ham taklif qilingan usul qanchalik yuqori aniqlikda ishlashini ko'rsatib berdi. Ushbu maqolada keltirilgan metodologiya va natijalar ShG ning energiya ishlab chiqarishini baholashga intilayotgan rejalashtiruvchilar yoki ishlab chiquvchilar uchun foydali ma'lumotlarni taqdim etish uchun mo'ljallangan deya olamiz.

Adabiyot

1. Mirziyoev Sh.M. Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to'g'risida. O'zbekiston Respublikasining Qonuni, 21.05.2019 yildagi O'RQ-539-son.
2. Mirziyoev Sh.M. Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 22-avgustdagi PQ-4422-sonli qarori.
3. Yuldoshev I. A., Hasanov M.Yu., Jamolov T.R., "Markov zanjiri usuli va o'lgangan shamol tezliklaridan foydalangan holda yangi shamol tezliklarini bashorat qilish uchun dastur "Markov Chain", O'zbekiston Respublikasining Dasturiy mahsulotlar davlat reestrda 13.07.2022 y. ro'yxatdan o'tkazilgan .№ DGU 17536.
4. Yuldoshev I. A., Hasanov M.Yu., Jamolov T.R., "Markov zanjiri usuli va o'lgangan shamol tezliklaridan foydalangan holda yangi shamol tezliklarini bashorat qilish", "Energiya va resurs tejankor innovatsion texnologiyalarni rivojlantirishning dolzarb muammolari" Respublika ilmiy-amaliy anjumani,23-24-sentabr 2022-yil.
5. M. Khasanov, S. Kamel, M. Tostado-Véliz, and F. Jurado, "Allocation of Photovoltaic and Wind Turbine Based DG Units Using Artificial Ecosystem-based Optimization," in 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEE-IC/I&CPS Europe), 2020, pp. 1-5: IEEE.
6. R. Billinton, R.N. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems, New York, Plenum, 1996.
7. A. Keane, M. Milligan, C. J. Dent, B. Hasche, C. D'Annunzio, K. Dragoon, H. Holttinen, N. Samaan, L. Soder, and M. O'Malley, "Capacity Value of Wind Power," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 2, pp. 564–572, May 2011.
8. P. Kayal and C. J. R. e. Chanda, "Optimal mix of solar and wind distributed generations considering performance improvement of electrical distribution network," vol. 75, pp. 173-186, 2015.
9. Bashi, M.H., & Ebrahimi, A. (2014). Markovian approach applied to reliability modeling of a wind farm. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 22, 287–301.
10. R. Billinton, Reliability Assessment of Electric Power System Using Monte Carlo Simulation Method, New York, Plenum, 1994.
11. Khasanov, Mansur, Salah Kamel, Essam Halim Houssein, Claudia Rahmann, and Fatma A. Hashim. "Optimal allocation strategy of photovoltaic-and wind turbine-based distributed generation units in radial distribution networks considering uncertainty." *Neural Computing and Applications* (2022): 1-26.

*Toshkent davlat texnika universiteti
tomonidan taqdim etilgan*

УДК 620.92

RESEARCH OF ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF
NANOSTRUCTURED PHOTOELECTRIC MODULES

E.B. Saitov, U.M. Axmedov, Z.F. Yuldoshaliyev, I.O. Abdusaidov, I.I. Sharipov,
A.A. Xursandov

Мақолада жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасига муқобил энергияга бўлган талабни истиқболлари келтирилган. Бундан кўриниб турибдики муқобил энергия турларидан булар қуёшдан олинадиган энергия, шамолдан олинадиган энергия, сув юзасидан (тулқинлардан) олинадиган энергия, геотермал энергия ва бошқа кўп турдаги энергия турларига мисол қилишимиз мумкин булар жумласига ҳозирги кунда энг оммалашиб бораётган қуёш энергияси анъанавий энергия турларининг энг ривожланаётган ва кўп қўлланилаётган десак муболага бўлмайди. Биз биламизки, яримўтказгичли материалда электронлар энергия зонасининг янги рухсат этилган даражаларини эгаллаганлиги сабабли, улар оқим ҳосил қилиш учун қо'шимча энергия олишлари керак. Тўлдирилган ёки валентлик зонасидаги электронлар этарли энергияга эга бўлмагунча тармоқли бўшлиги орқали ўтказувчанлик зонасига ўта олмайди. Тармоқ бўшлигига кириш учун силикон ёки германий каби табиий ярим ўтказгичдаги электронлар 1eV энергия олишлари керак. Ёруғлик фотонлари бу энергияга эга. Ярмўтказгичли фотоелектр генераторларининг (қуёш хужайралари) ишлаш жараёни қўйидагича: қуёш нурланишининг фотонларини ютиш орқали электронлар қўшимча энергия олади ва ўтказувчанлик зонасига ўта бошлайди.

В статье представлены перспективы спроса на альтернативную энергию для мировой и узбекской энергетики. К альтернативной энергии относятся энергия Солнца, энергия ветра, энергия потоков воды, геотермальная энергия и многие другие. Известно, что в полупроводниковом материале из-за того, что электроны занимают разрешенные уровни энергетической зоны, им необходимо получить дополнительную энергию, чтобы генерировать электрический ток. Электроны в заполненной или валентной зоне не могут пройти через запрещенную зону в зону проводимости, пока не наберут достаточную энергию. Чтобы войти в запрещенную зону, электронам в естественных полупроводниках, таких как кремний или германий, необходимо получить 1 эВ энергии. Фотоны света обладают такой энергией. Процесс работы полупроводниковых фотоэлектрических генераторов (солнечных элементов) заключается в следующем: поглощая фотоны солнечного излучения, электроны получают дополнительную энергию и начинают двигаться в зону проводимости.

The article presents the prospects for the demand for alternative energy for the energy of the world and Uzbekistan. From this it can be seen that from alternative types of energy these are energy from the sun, energy from the wind, energy from the surface of the water (from foxes), geothermal energy and many other types of energy that we can take as an example these sentences cannot be exaggerated if we say that

currently the most popular solar energy is the. We know that in a semiconductor material, due to the fact that the electrons occupy the new allowed levels of the energy zone, they need to receive additional energy in order to generate a current. Electrons in the filled or valence band cannot move through the band gap into the conduction band until they gain enough energy. In order to enter the band gap, electrons in a natural semiconductor such as silicon or germanium need to gain 1eV of energy. Photons of light have this energy. The operation process of semiconductor photoelectric generators (solar cells) is as follows: by absorbing photons of solar radiation, electrons gain additional energy and begin to move to the conduction band.

Introduction. Currently, the use of silicon photovoltaic cells is of great importance in converting existing solar energy into electricity. Converting sunlight energy into electrical energy, the generation of electromotive force (EUuK) under the influence of light is 0.4-0.5 V. It is possible to create a solar panel by connecting the photocells in parallel or in series, and the FIC of such silicon photocells is a maximum of 20%, and we can make their power up to several kW. Solar cells consisting of silicon photocells are the main source of power supply in Earth satellites, automatic weather stations, etc. [1].

We know that in a semiconductor material, due to the fact that the electrons occupy the new allowed levels of the energy zone, they need to receive additional energy in order to generate a current. Electrons in the filled or valence band cannot move through the band gap into the conduction band until they gain enough energy. In order to enter the band gap, electrons in a natural semiconductor such as silicon or germanium need to gain 1eV of energy. Photons of light have this energy. The process of operation of semiconductor photoelectric generators (solar cells) is as follows: by absorbing photons of solar radiation, electrons gain additional energy and begin to move to the conduction zone [2].

The energy of each electron increases according to the value of the band gap. Usually the electron is in this state for a very short period of time. Then it recombines with an ion, and the energy released from it increases the vibration of the crystal lattice or is reradiated. It is known that increasing the vibration of lattice ions leads to an increase in temperature in solids. That's what we're dying for. In a photoelectric generator, electrons excited by light pass through a semiconductor material and transfer their excess energy to the payload without spending it on other interactions [3].

By preventing the conversion of solar energy into heat, we hope to escape certain thermodynamic constraints, but nature presents us with new conflicts. Photon energy is related to frequency as follows:

$$E = h\nu = \frac{h\nu}{\lambda} . \quad (1)$$

Considering that the wavelengths of solar radiation lie in the region around 1 μm , we can write this relationship in a simpler form:

$$E = \frac{1,24}{\lambda} . \quad (2)$$

It can be seen from equation (2) that the energy of solar radiation photons decreases with increasing wavelength. In fact, there is such a wavelength that the elec-

trons excited by photons pass through the forbidden zone when the energy of the photons is insufficient. For example, the bandgap of silicon at room temperature is about 1.1 eV, corresponding to a photon energy of about 1.1 μm wavelength. About 20% of the solar radiation from the Earth's surface to the sea level corresponds to the long-wave part. In this way, they fall out of the sphere of action of silicon-based devices. Even the short-wave part of the radiation cannot be fully used. When the electrons move only to the allowed levels, only the electrons whose energy is close to the forbidden band width maintain their excited state.

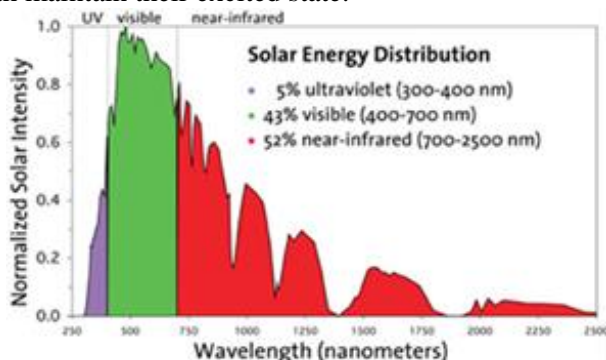


Fig. 1. Spectral distribution of solar energy

When a material is irradiated with high-energy photons, the excess energy of electrons is quickly spent on increasing lattice vibrations, that is, on increasing its internal energy [4]. Thus, when silicon is irradiated with photons of 0.6 μm wavelength (corresponding to energy of about 2.0 eV), electrons can "receive" only 1.1 eV of energy, and the remaining energy is wasted to increase the temperature of the material.

This efficiency depends in part on the distribution of solar radiation spectral energy, which varies with latitude and meteorological conditions of the site as shown in Figure 1.

Table 1 shows the results obtained under cloudless conditions in the tropics as examples. The maximum efficiency of solar energy conversion in silicon (cutoff wavelength 1.1 μm) is equal to.

1-table

Wavelength range, μm	Contribution of solar energy corresponding to the specified interval, %	Contribution of solar energy used in the interval	Contribution of the used energy from the total amount of solar energy, %
less than 0.3	0	-	-
0,3 – 0,5	17	0,36	6
0,5 – 0,7	28	0,55	15
0,7 – 0,9	20	0,73	15
0,9 – 1,1	13	0,91	12
1,1 and greater	22	0	0
1.1 Total	100		48

It can be seen from equation (2) that if the wavelength photon energy λ is equal to $1,24/\lambda$, the value of the useful energy when irradiated with wavelength λ_T photons is determined by the relation λ Photons with a wavelength greater than the threshold wavelength λ/λ_T cannot excite electrons at all [5-7].

Calculations for different cut-off wavelengths show that silicon ($\lambda_T = 1.1 \mu\text{m}$) is the best material for photoelectric generators, although its maximum F.I.K. at some wavelengths close to λ_T even if only by 45%. Consequently, the F.I.K. of such photoelectric devices. Not more than 45%. Unfortunately, in real devices, F.I.K. will be even less. To explain this, we need to take a closer look at the process of obtaining energy using electrons excited by solar radiation.

Diffusion of Ni input atoms was carried out on the basis of the technology described above. Table 2 shows the results of the change in the residence time of non-main charge carriers after the diffusion of Ni atoms into the original silicon at a temperature of $T=1220 \text{ }^\circ\text{S}$.

2 - table.

Si brand	KDB-0,5	KDB -10	KEP-40	KEP -4,5
Initial t (μs)	5-9	5-12	10-13	12-17
Introduction	Ni	Ni	Ni	Ni
t (mks) after heat treatment	6-10	8-12	12-14	16-18

Based on the analysis of the obtained results, it was determined what should be the concentration of FEs in ligation with additional input atoms, which would cause an increase in FIK. When additional ligation of FEs with nickel lead atoms, the efficiency of FEs increased when the concentration was in the range of $10^{15} \div 6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. It was found that it is not possible to increase the efficiency of FEs if the concentration of the input atoms forming a small energy level is less than 10^{17} cm^{-3} when using the original silicon wafers under substrate conditions.

Since the main technical and economic characteristic of the PV is the efficiency of its operation, we will choose the relative change in its efficiency as a criterion for the contamination of the glass surface of the PV:

$$\gamma = \left| 1 - \frac{\eta_1}{\eta_0} \right| ; \quad (1)$$

where η_1 is the efficiency of the FEB at some point in the operation time (dusty glass); η_0 - FEB efficiency before operation (clean glass). If we use the expression for the efficiency of the SE [8].

$$\eta = ff \frac{j_{sc} U_{oc}}{WS} ; \quad (2)$$

then (2) can be written as:

$$\gamma = \left| 1 - \frac{j_{sc,1}}{j_{sc,0}} \right| ; \quad (3)$$

where j_{sc} is the short circuit current density, U_{oc} is the open circuit voltage, ff is the duty cycle of the current–voltage characteristic, and W is the solar power flux density S is the PV area. The dependence of the short circuit current density on the optical properties of glass, antireflection coating and solar cells has the form:

$$j_{sc} = qhc \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda^2} \cdot T(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot Q(\lambda) \cdot (1 - R(\lambda)) d\lambda; \quad (4)$$

where q - is the electron charge, h - is Planck's constant, c - is the speed of light, λ - is the wavelength of solar radiation, $E(\lambda)$ is the spectral distribution of the energy flux of solar radiation, $T(\lambda)$ is the transmission coefficient of glass, $Q(\lambda)$ is the coefficient gathering; $R(\lambda)$ is the reflection coefficient of the system glass - antireflection coating - PV, λ_1, λ_2 are the boundaries of the region of spectral sensitivity of the SC. Since in the solar region of the spectrum (0.4 - 2.55 μm) the dispersion of the refractive index of glasses is insignificant, the transmittance in (4) can be replaced by an average value and taken out of the integral sign, then (3) will be written as:

$$\gamma = \left| 1 - \frac{T_1}{T_0} \right|; \quad (5)$$

where T_0, T_1 are the average values of the transmittances of clean and contaminated glass.

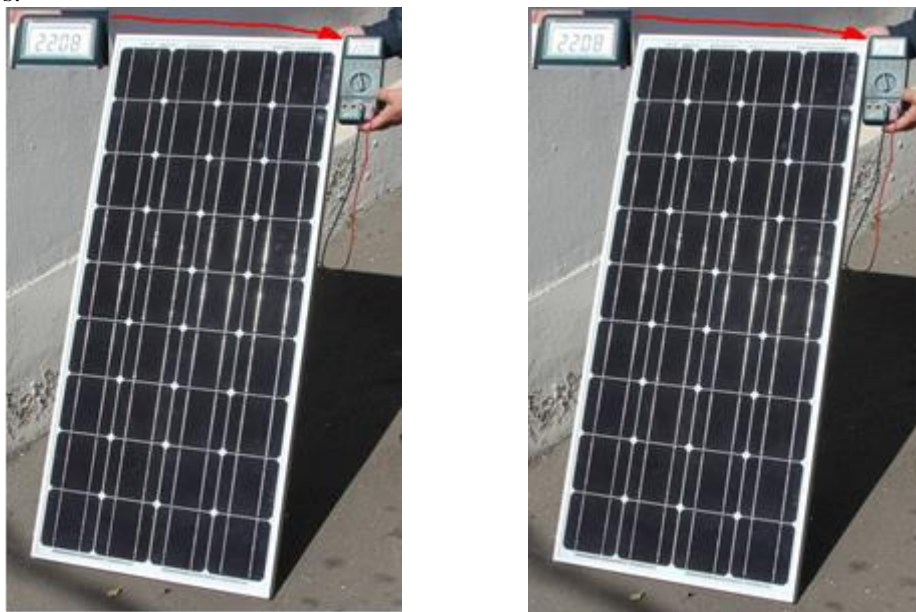


Fig.2. The process of determining the electrical parameters of the solar photovoltaic module in nature

This is a more accurate method, giving an error of about 5%, but also more complicated, since you need an MPPT controller with a display and a slightly discharged battery.

As in the first method, you need to position the solar panel so that direct sunlight falls on its ALL surface PERPENDICULARLY to the surface. It is necessary to take measurements in clear weather in the middle of the day in spring and summer,

when the Sun is as high as possible above the horizon (the angle of the Sun should be more than 42 degrees above the horizon).

In addition, you need to connect the MPPT controller to the battery, and then the panel to the MPPT controller.

The controller display shows the solar panel voltage (V_{mp}) and current (I_{mp}) at the maximum power point.

As you can see in the photo, for the same panel with a power of 100 W, $V_{mp} = 18$ Volts, $I_{mp} = 6.0$ Amps. Therefore, its power is $18 * 6 = 108$ watts.

Note that the controller readings may have an error and for greater accuracy it is better to focus not on them, but on the readings of the multimeter, which can measure the current and voltage of the solar panel connected to the controller.

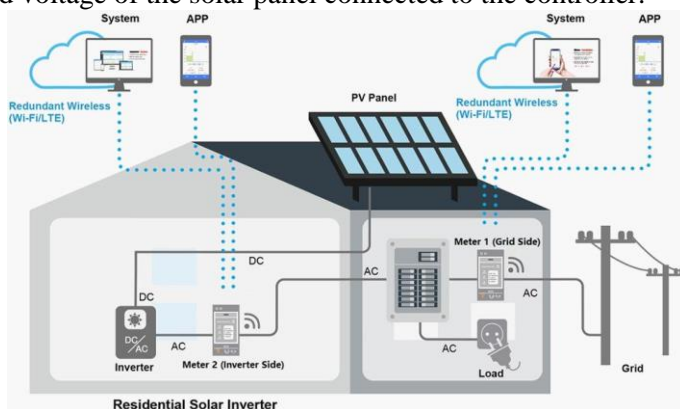


Fig.3. Photovoltaic installation (with kits) and its commutation with the electrical network

The short-circuit current, open-circuit voltage and power of the PV, consisting of 40 cells with an efficiency of 18.5%, were measured. The measurements were carried out in the Republic of Uzbekistan in winter in clear and cloudy (overcast) weather.

Shows a possible switching scheme of the PMT with the electrical network. In this case, the photovoltaic installation must additionally be equipped with a device that switches the consumer in the absence of solar energy or the batteries are completely discharged to supply from the electrical network.

Conclusion. On fig. 2. shows the results of short-circuit current measurements depending on the time of day. It can be seen that the charging current in clear weather (42.7 Ah, at 790 W/m^2) is ~ 4 times greater than the charging current in cloudy weather (11.6 Ah, at 280 W/m^2). Obviously, in cloudy weather, PEBs cannot work effectively due to a decrease in the charging current, and their charging time depends on the daytime. In order to reduce the charging time of the batteries and ensure the profitability of the PV, it is possible to use, for example, a traditional power grid on winter or cloudy days.

Acknowledgement. The work was carried out with the financial support of the Ministry of Innovation Development of the Republic of Uzbekistan in the framework of project Φ -OT-2021-497 – “Development of scientific foundations for the creation of solar cogeneration plants based on photovoltaic thermal batteries”

References

1. Gundas, S. P. renewable energy sources / S. P. Gundas, S. S. Paznyak, L. V. Shenets. - Minsk: IPSO they are. A. D. Sakharova, 2009. - 390 b.
2. Automatic cleaning system for solar panels and method thereof: par. US 8323421 F24J 2/40 / Lee, HanLung Publ. date 29.10.2009.
3. Saitov, E.B., Kodirov, Sh., Beknazarova, Z.F., ...Nortojiyev, A., Siddikov, N. Developing Renewable Sources of Energy in Uzbekistan Renewable Energy Short Overview: Programs and Prospects. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 020015.
4. Mazumder M., Horenstein M.N., Stark J.W., Girouard, P., Sumner, R., Henderson, B., Sharma, R. Characterization of electrodynamic screen performance for dust removal from solar panels and solar hydrogen generators. // IEEE transactions on industry applications 2013. – V.49. №4. – P.1793-1800.
5. Mani M., Pillai R. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. – V.14. – P.3124-3131.
6. Шардакова Л.Ю.,Ковалевская Ю.И., Верещагина Н.Г. Последствие изменения климата: эрозия почв и как с ней бороться /«Адаптация к изменению климата: примеры из Узбекистана и Казахстана», Ташкент. 2012. – С.5-6.
7. Saitov, E.B., Sodiqov, T.B. Modeling an Autonomous Photovoltaic System inthe Matlab Simulink Software Environment. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 020022.
8. Анарбаев. А.И., Захидов Р.А., Орлова Н.И., Таджиев У.А Районирование территории Узбекистана по комплексу метеофакторов, влияющих на эффективность работы солнечных систем горячего водоснабжения //Гелиотехника.2008. – №2. – С. 62-73.
9. Авезов Р.А., Авезова Н.Р., Матжанов Н.А и др. //Гелиотехника 2012. – №1. –С. 17-24.
- 10.Saitov, E.B., Kodirov, Sh., Kamanov, B.M., Imomkulov, N., Kudenov, I. Increasing the Efficiency of Autonomous Solar Photovoltaic Installations for Power Supply of Agricultural Consumers. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 040036.
- 11.Zikrillayev, F., Saitov, E.B., Toshov, J.B., Ilyasov, B.K., Zubaydullayev, M.B. A Software Package for Determining the Optimal Composition and Parameters of a Combined Autonomous Power Supply System Based on Renewable Energy Sources. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 020021.

*Presented by Tashkent State
Technical University*

УДК 620.98

**ПО ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕКТОРА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН С ВНЕДРЕНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ****Н.Р. Авезова, Э.Ю. Рахимов, А.У. Вохидов, Н.Н. Далмурадова**

Ушбу ҳисобот қуёш энергияси ресурслари хариталарини ишлаб чиқиш ва қуришига бағишланган бўлиб, у эрда NASA POWER актинометрик ва иқлимий маълумотлар базаларидан фойдаланилган. Шунингдек Тошкент ҳудудида жойлашган ясси сув иситиши коллектори сиртига тушувчи йиллик йиғинди қуёш нурланиши миқдори (GHI) коллекторнинг ориентациясига (azimut) ва горизонтга нисбатан қиялик бурчагига бўғлиқ ҳолда аниқланган. Шунинг асосида горизонтга нисбатан 30° бурчак остида ва жанубий йўналишида жойлаштирилган ясси сув иситиши коллекторининг сиртига тушувчи ўртача ойлик ва йиллик йиғинди қуёш нурланиши аниқланган. Мамлакатнинг минтақасига қараб, қуёш сув иситгич қурилмалари (ҚСИҚ) нинг 1 м² майдонига тўғри келадиган ўртача йиллик ишлаб чиқарилиши 1,04 дан 1,16 Гкал/м² гача эканлиги кўрсатилган. Республика ҳудудлари бўйлаб ROYAL ASC-1808 маркали ясси қуёш сув иситиши коллектори мисолида бак ҳажми 200 л бўлган ҚСИҚ дан ҳарорати 37°C, 45°C ёки 55°C бўлган иссиқ сув олиш мумкин бўлган нисбий кунлар сони бўйича харита ишлаб чиқилган ва таклиф қилинган. Олинган дастлабки маълумотларга кўра, 2019-2020-йилларда Ўзбекистон Республикаси ҳудудида ўрнатилган 2155 донга юқорида номи келтирилган маркали коллекторлар ёрдамида 579 минг нм³ (1440 т кўмир) табиий газни тежаш, шунингдек, бунинг натижасида табиий газни алмаштириши ҳисобига CO₂ чиқиндиларини 790 т (кўмирни алмаштириши ҳисобига эса 4980-7610 т) га камайтириши имконияти мавжудлиги аниқланган.

Данная статья посвящена вопросам разработки и создания карт ресурсов солнечной энергии, где использовались актинометрические и климатические базы данных NASA POWER. Определены годовые суммы солнечного излучения (GHI), поступающей на поверхность плоского солнечного коллектора (ПСК), в зависимости от ориентации (азимута) и угла наклона поверхности к горизонту в Ташкентском регионе, и на этой основе среднемесячные и годовые суммы солнечного излучения в ПСК, установленного под углом наклона 30° и ориентированного на юг. Показано, что среднегодовая выработка тепла солнечных водонагревательных установок (СВУ) в расчете на 1 м² площади, в зависимости от региона страны, составляет от 1,04 до 1,16 Гкал/м². Разработана и предложена карта количества дней, когда можно получить температуру воды с температурой 37°C, 45°C или 55°C, с баком объемом 200 л СВУ на примере ПСК марки ROYAL ASC-1808 по регионам страны. На основе полученных исходных данных выявлена возможность экономии природного газа в количестве 579 тыс. нм³ (1440 т угля), а также сокращения при этом выбросов CO₂ на 790 т за год при замещении природного

газа, (4980-7610 т при замещении угля) и при использовании 2155 штук вышеуказанной марки ПСК, установленных на территории РУз в период 2019-2020 гг.

This article is devoted to the development and creation of maps of solar energy resources, where actinometric and climatic data from NASA POWER databases were used. The annual amounts of solar radiation (GTI) arriving at the surface of a flat-plate solar collector (FPSC) depending on the orientation (azimuth) and the angle of inclination of the surface to the horizon in the Tashkent region are determined, and on this basis the average monthly and annual amounts of solar radiation in the plane of the FPSC installed at an angle of inclination of 30° and oriented to the south. It is shown that the average annual heat generation of solar water heating plants (SWHP) per 1 m² of area, depending on the region of the country, ranges from 1.04 to 1.16 GCal/m². A map has been developed and proposed regarding the number of days when it is possible to obtain a water temperature with a temperature of 37°C, 45°C or 55°C, with a tank with a volume of 200 liters of SWHPs using the example of the ROYAL ASC-1808 FPSC brand by regions of the country. Based on the initial data obtained, the possibility of saving natural gas in the amount of 579 thousand tons Nm³ was revealed (1,440 tons of coal), as well as reducing CO₂ emissions by 790 tons per year when replacing natural gas (4980-7610 tons when replacing coal) when using 2,155 pieces of the above-mentioned FPSC brand installed on the territory of the Republic of Uzbekistan in the period 2019-2020.

Введение. В последние годы в мире наблюдается резкий рост объемов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Несмотря на пандемию COVID-19, инвестиции в возобновляемую энергетику в 2020 г. увеличились на 1,7% [1], а установленная мощность ВИЭ в 2022 году – на 10% [2]. Использование ВИЭ в секторах экономики стран отвечает одной из Целей устойчивого развития ООН (цель 7 – «увеличение надежного, бесперебойного и достаточного производства энергии для подготовки к более устойчивому восстановлению экономики») [3] и плану Международного энергетического агентства по достижению нулевых выбросов парниковых газов к 2050 г. [4].

Получение низкопотенциального тепла за счет солнечной энергии (СЭ) – одна из наиболее распространенных технологий использования ВИЭ. Наиболее часто используемая система – это подогрев воды в солнечных водонагревательных установках (СВУ), 90% которых входят в состав систем горячего водоснабжения жилых домов [5]. История исследования и практического использования СВУ насчитывает более 100 лет [6, 7, 8]. Установленная мощность работающих СВУ в мире составила к концу 2021 г. 522 ГВт, а площадь – 746 млн м² [5], при этом доля плоских солнечных коллекторов как устройств преобразования СЭ в тепло выросла за последние 10 лет на 12,5% [5].

Узбекистан располагает значительными ресурсами СЭ [9]. Есть ряд Постановлений и Указов Президента Республики Узбекистан в которых [10, 11] предусматривается рациональное, ускоренное и широкомасштабное использование ВИЭ в секторах экономики страны. С 1 января 2022 г. для зданий и сооружений государственных органов и организации становятся

обязательными энергосберегающие технологии, а для горячего водоснабжения – применение сертифицированных СВУ [12]. Использование СВУ в секторе теплоснабжения республики стимулируется также государственными мерами по его развитию [13, 14, 15]. Сегодня по данным Минэнерго РУз [16], более 72% тепловой энергии в республике вырабатывается котельными (4234 Гкал.ч) и ТЭЦ (19290 Гкал.ч). Основным топливом, сжигаемым на ТЭЦ и котельных, является природный газ. В малоэтажных жилых домах, на долю которых приходится 76% жилого фонда, для нужд горячего водоснабжения расходуется около 3000 млн м³ газа. Программой развития системы теплоснабжения на 2018-2022 гг. [**Ошибка! Закладка не определена.**] запланирована реконструкция 668 и строительство 1217 котельных. За счет установки энергоэффективного оборудования и применения современных технологий [17] предполагается обеспечить экономию природного газа и электрической энергии.

Необходимо отметить, что первая в Узбекистане солнечно-топливная котельная была введена в эксплуатацию в апреле 1986 г. [**Ошибка! Закладка не определена.**]. Она обеспечивала горячей водой жилой микрорайон с населением 5000 чел. и общей площадью 902,7 м², осуществляя предварительный подогрев воды до 35-40°С. Сегодня в республике имеется ряд коммерческих компаний, которые занимаются установкой под ключ систем горячего водоснабжения на основе СВУ. налажено производство плоских и трубчатых вакуумированных солнечных коллекторов (СК) и СВУ на их основе.

Одним из лидеров научной инженерной школы гелиотехники Узбекистана являлся д.т.н., проф. Р.Р. Аvezов. Научное направление его исследований сформулировано в докторской диссертации, а результаты обобщены в монографии «Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения». Он внес огромный вклад в развитие научных основ теплового расчета и оптимизации параметров низкопотенциальных солнечных тепловых установок, повышения эффективности использования СВУ в системах теплоснабжения, тепловой оптимизации конструктивных и режимных параметров СВУ [18, 19, 20].

Обобщение результатов практического использования СВУ в стране и международного опыта по части касающейся, явились основой для подготовки стратегически значимых государственных документов для масштабирования солнечных технологий в том числе СВУ различных технологий в секторах экономики страны, в краткие сроки достаточно быстрыми темпами. Указом Президента Республики Узбекистан №-УП-220 «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию ВИЭ малой мощности» от 10.09.2022 г., указаны все индикаторы по «доведению до 30% доли альтернативных источников энергии в объеме потребления энергии более чем на 6 тысячах объектов в разрезе министерств и ведомств». Также, Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан «Об утверждении положения о порядке предоставления компенсации за счет средств государственного бюджета Республики Узбекистан на приобретение энергоэффективных и энергосберегающих устройств и покрытия части процентных расходов по кредитам, полученным на эти цели» регулируется порядок масштабирования энергоэффективных установок на основе СЭ.

В данной статье приводятся результаты оценки производительности СВУ в системах горячего водоснабжения с учетом климатических факторов региона, теплотехнических параметров СВУ. На основе полученных данных построены карты ресурсов солнечного излучения (СИ) и технического потенциала выработки тепловой энергии СВУ, а также результаты исследований относительно количества дней, когда можно получить температуру воды с температурой 37°C, 45°C или 55°C, в баке объемом 200 л СВУ на примере СК марки ROYAL ASC-1808 по регионам страны.

Методика и материалы. Ресурсы солнечного излучения оценивались по данным пятилетних (2013-2017 гг.) актинометрических наблюдений 6 метеостанций, установленных на территории РУз при содействии Азиатского банка развития [21]:

- Дагбид (Самаркандская область);
- Кармана (Навоийская область);
- Гузар (Кашкадарьинская область);
- Шерабад (Сурхандарьинская область);
- Пап (Наманганская область);
- Паркент (Ташкентская область).

По данным количественных показателей суммарного и рассеянного СИ на горизонтальной поверхности рассчитывались суммы СИ на наклонной поверхности ПСК [**Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.**]. При построении карт ресурсов солнечной инсоляции использовались актинометрические и климатические база данных NASA POWER [22]. По данным [23] среднемесячные показатели количества суммарного СИ на горизонтальной поверхности (GHI) на территории РУз, в период с апреля по сентябрь по спутниковым наблюдениям (NASA POWER [**Ошибка! Закладка не определена.**2], базы данных Европейской системы мониторинга климата по спутниковым данным SARAH-E [24] и Европейского центра среднесрочного прогноза погоды ERA5 [25]) отличаются от соответствующих данных наземных наблюдений на 8-16%.

Относительно равномерное распределение сумм СИ по территории Узбекистана и сходство климатических условий различных регионов Республики позволили оценить КПД СВУ в одной из выбранных точке (Паркент, где установлена эталонная метеостанция) и распространить его на всю территорию РУз. При этом определялись различные виды потерь, и рассчитывался средний КПД СВУ [26].

Обсуждение результатов

По данным многолетних наземным актинометрических наблюдений [**Ошибка! Закладка не определена.**] годовая сумма СИ на территории РУз изменяется в пределах от 1500 кВтч/м² до 2100 кВтч/м², а число часов солнечного сияния в течение года в регионах республики (за исключением Ферганской долины) доходит до 2900-3100 ч., в Сурхандарье – 3000-3100 ч. Для поглощения максимального количества СЭ приемная плоскость СК должна быть перпендикулярна солнечным лучам, что для неподвижно установленного коллектора обеспечить невозможно. Поэтому необходимо уточнить оптимальные с точки зрения максимума поступления СИ на СК, ориентацию и угол наклона плоскости коллектора к горизонту.

Расчетные исследования, аналогичные [Ошибка! Закладка не определена.,27] (рис.1, альbedo – 0,3) показали, что оптимальной ориентацией коллектора является южная, а оптимальный угол наклона зависит от периода работы установки: для холодного периода года (ноябрь – апрель); в Ташкентском регионе он составляет 58° , для теплого (май – октябрь) – 20° , а при круглогодичной работе установки – 32° . Выбор угла наклона по сезонному, вместо круглогодичного оптимума (и наоборот), снижает КПД системы на 4-8% [28].

Оптические потери СК зависят от коэффициента пропускания солнечного излучения прозрачным покрытием и коэффициента его поглощения поглощающей панелью. Пропускание и поглощение зависят от угла падения излучения, при нормальном падении потери минимальны. Оптические потери в ПСК составляют 5-33% [29].

Климат Узбекистана – резко-континентальный, жаркий и засушливый. Средняя температура на территории республики зимой от -8°C до 0°C , в горных районах может опускаться до -35°C . Летом средняя температура в северных регионах страны достигает $26-32^\circ\text{C}$, а на юге (Термез, Шерабад) – до $43-45^\circ\text{C}$. Максимальная температура воздуха превышает 50°C [30, 31]. Средняя скорость ветра (на высоте 10 м) на территории Узбекистана составляет $0,6-4,0$ м/с [32].

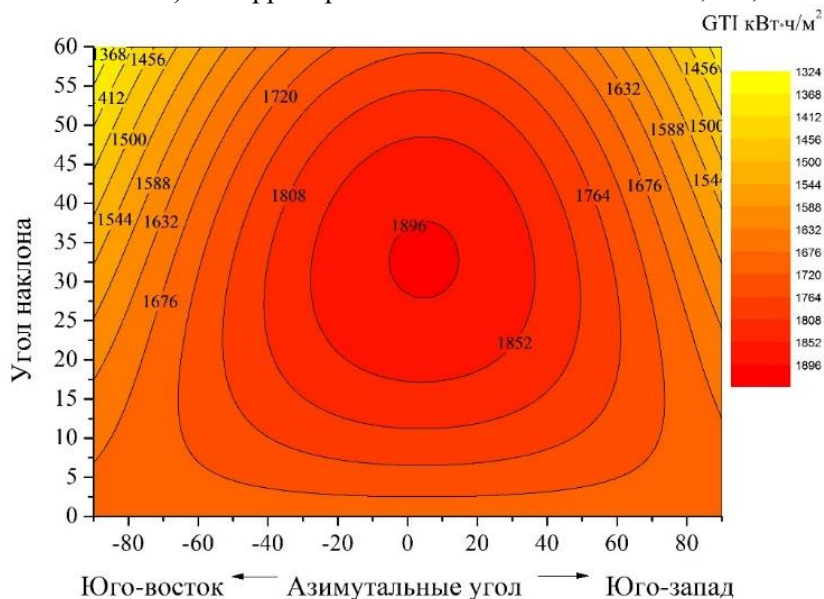


Рис 1. Годовая сумма солнечного излучения (ГТИ), поступающая на поверхность плоского солнечного коллектора в зависимости от ориентации (азимута) и угла наклона поверхности к горизонту в Ташкентском регионе

Тепловые потери ПСК через фронтальную поверхность в климатических условиях Узбекистана можно оценить в 5-15% [Ошибка! Закладка не определена.,33]. Ещё 2-12% составляют тепловые потери через дно и боковые стенки рассматриваемого коллектора.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Величина потерь выработки СВУ из-за загрязнения прозрачного покрытия зависит от типа пыли, периода после последних осадков и графика очистки поверхности покрытия ПСК. В Узбекистане масса пыли, выпадающая на поверхность земли в пустынных районах, составляет до 9 т/га в год, а в районах орошаемого земледелия до 0,1-1,2 т/га в год [34]. Песчаные и пылевые бури, в зависимости от климатических особенностей местности, продолжаются от 10 до 30 дней, а в некоторых районах – более 50 дней в году [35]. В 10 крупных городах Узбекистана, в которых проживает более 41% городского населения (Андижан, Ангрен, Бухара, Навои, Фергана, Алмалык, Бекабад, Чирчик, Ташкент и Нукус), уровень запыленности воздуха превышает санитарные нормы в среднем в 2,7 раза. В таких городах большинство пылевых частиц возникает параллельно с другими загрязняющими веществами, особенно с двуокисью серы и окисью азота, и химически изменяются, образуя нитраты и сульфаты. Начиная с 2018 г. в регионах Приаралья усиливаются аномальные пыльно-солевые бури, после чего, по данным Центра гидрометеорологической службы «УзГидромет» при МЧС РУз, было зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации пыли в воздухе в Хорезмской области и Республике Каракалпакстан в 3-5,9 раза [36]. 4 ноября 2021 года уровень запыленности воздуха в городе Ташкенте поднялся до максимальной точки. Временами концентрация пыли в воздухе превышала допустимую для Узбекистана в 30 раз. По данным Узгидромета, за 150 лет наблюдений в Ташкенте никогда не наблюдалось таких экстремальных условий запыленности [37].

Для определения выработки СВУ в точках, где располагаются метеостанции [21], были использованы приведенные в табл. 1, среднемесячные и годовые суммы суммарного СИ в плоскости поглощающей панели коллектора, установленного под близким к оптимальному углом наклона 30° к горизонту и ориентированного на юг.

Таблица 1

Среднемесячные и годовые суммы солнечного излучения в плоскости коллектора, установленного под углом наклона 30° и ориентированного на юг, кВтч/м²

Месяц года	Ташкентская обл.	Кашкадарьинская обл.	Самаркандская обл.	Навоийская обл.	Наманганская обл.	Сурхандарьинская обл.
I	83,6	82,2	77,0	80,8	62,7	88,9
II	115,7	117,5	107,1	106,8	88,9	107,9
III	127,8	131,5	130,5	134,1	135,4	138,6
IV	169,6	166,2	167,7	169,6	167,5	173,6
V	206,2	212,3	215,8	210,8	206,6	213,2
VI	221,3	220,8	219,8	222,7	209,4	218,5
VII	234,4	230,6	230,1	238,6	218,1	220,9
VIII	227,3	230,3	225,6	228,6	204,4	225,9
IX	193,8	204,8	198,4	201,5	172,8	190,6
X	142,3	160,9	153,1	141,4	137,7	166,3
XI	93,4	102,4	96,4	96,8	79,8	111,7
XII	82,9	78,3	83,7	82,3	67,8	96,7
Годовая GTI	1898,2	1937,7	1905,2	1913,9	1751,0	1952,8

Результаты расчетов по годовой выработке СВУ (в расчете на 1 м² площади СК по регионам республики), приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, максимальная выработка СВУ наблюдается в южных регионах (Кашкадарьинская и Сурхандарьинская области), минимальная, – на севере Ферганской долины (Наманганская область), при этом для всех областей, кроме Наманганской области, отличие друг от друга не превышает 3%.

Таблица 2

Среднегодовая выработка СВУ в расчете на 1 м² площади солнечного коллектора, Гкал/м²

Ташкентская область	Кашкадарьинская область	Самаркандская область	Навийская область	Наманганская область	Сурхандарьинская область
1,13	1,15	1,13	1,14	1,04	1,16

В 2017 г. в Узбекистане компания «Artel» запустила серийное производство (объемом до 150000 м²/год) ПСК «ROYAL» с медной поглощающей панелью с селективным покрытием и СВУ на их основе [38]. Компания «Artel» является наиболее крупным производителем коллекторов в республике. В связи с этим, натурные экспериментальные исследования СВУ «ROYAL» пяти моделей (рис. 2) были проведены на Гелиополигоне ФТИ АН РУз в 2017-2021 гг. [39]. При этом тепловые испытания проводились на основе O'z DSt ISO 9806: 2020 (ISO 9806:2017, MOD) [26] с применением ускоренной методики определения основных теплотехнических параметров исследуемых коллекторов, в климатических условиях города Ташкента на специально разработанном испытательном стенде [40] по определению теплогидравлических показателей СВУ. Годовая сумма СИ в плоскости коллектора, установленного под углом 30° к горизонту, составила 1896 кВтч/м².



Рис. 2. Оборудование экспериментальных исследований, проводимых в натурных условиях на Гелиополигоне по определению тепловой эффективности СВУ ФТИ АН РУз (2017-2021 гг.)

Для расчетно-изыскательских работ использованы показатели СК ROYAL ASC-1808, который имеет следующие технические характеристики: габаритные размеры, 927×1927×90 мм³, площадь поглощающей панели – 1,59 м², материал

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

панели – алюминий с селективным покрытием (поглощательная способность – 95%, степень черноты – 4%), стекло – закаленное с низким содержанием железа, толщина стекла – 4 мм, толщина теплоизоляции тыльной и боковых стенок – 40 мм, её плотность – 50 кг/м³ [41]. Коллектор комплектуется баком-аккумулятором емкостью 200-300 л.

Результаты натуральных экспериментальных исследований [36] по определению среднемесячных показателей полученной горячей воды с температурой 37°C, 45°C и 55°C¹ от СВУ пяти марок на основе коллекторов «ROYAL» для условий г. Ташкента приведены в табл. 3.

Таблица 3
Среднемесячные показатели полученной горячей воды с температурой 37°C, 45°C и 55°C от СВУ на основе коллекторов «ROYAL» (м³)

Месяцы и t _{вх} Температура	I (5°C)	II (8°C)	III (10°C)	IV (15°C)	V (18°C)	VI (20°C)	VII (20°C)	VIII (20°C)	IX (18°C)	X (15°C)	XI (10°C)	XII (8°C)
37°C	2,2	3,4	4,1	6,6	9,4	11,6	12,3	11,5	8,8	5,2	3,0	2,5
45°C	1,7	2,5	3,1	4,9	6,6	7,9	8,3	8,1	6,2	4,1	2,2	1,7
55°C	1,4	2,0	2,4	3,6	4,8	5,6	5,9	5,9	4,5	3,0	1,7	1,4

Как видно из табл. 3 и по [39], значения КПД СВУ колеблются в пределах 60-65%, с учетом оптических и тепловых потерь СК, а также потерь от запыления прозрачного покрытия коллектора, что хорошо согласуется с расчетными оценками. Далее в расчетах, в среднем можно принять равным 63%.

Таким образом, в течении года с 1 м² СВУ на базе СК «ROYAL», установленного под углом наклона 30° к горизонту и ориентированного на юг, в условиях г. Ташкента, можно получить до 81, 57 и 42 м³ горячей воды с температурой 37°C, 45°C и 55°C за год, соответственно.

Годовая выработка СВУ на основе СК «ROYAL» составляет 4700 МДж/м², обеспечивая удельную экономию природного газа или Ангреноского угля 169 Нм³/(м²·год) или 420 кг/(м²·год), соответственно. Уменьшение выбросов CO₂ в течение года при сжигании природного газа составляет 231 кг CO₂/(м²·год), а для Ангреноского угля 1450-2200 кг CO₂/(м²·год), соответственно. На территории РУз в 2019-2020 гг. было смонтировано 2155 СВУ, экономия от их работы составляет 579 тыс. нм³ природного газа или 1440 т угля в год. Уменьшение выбросов CO₂ в течение года при сжигании природного газа составляет 790 т, для угля – 4980-7610 т.

Карты ресурсов солнечного излучения и выработки СВУ

Результаты расчета средних дневных сумм СИ, приходящих на 1 м² поверхности СК (ориентированного на юг и установленного под углом 30° к горизонту) по всей территории Узбекистана с использованием базы спутниковых наблюдений NASA POWER [Ошибка! Залкадка не определена.2] позволили построить для территории Узбекистана карты ресурсов СЭ по

¹ Вода с температурой 37°C ощущается как теплая, остальные температуры встречаются в различных нормативных документах.

сезонам года и в целом за год (рис. 3). В теплый период года (апрель-октябрь) средняя дневная сумма СИ в плоскости коллектора изменяется от 6,44 до 7,00 кВтч/м², тогда как в холодный период (ноябрь-март) этот показатель составляет от 3,11 до 4,78 кВтч/м².

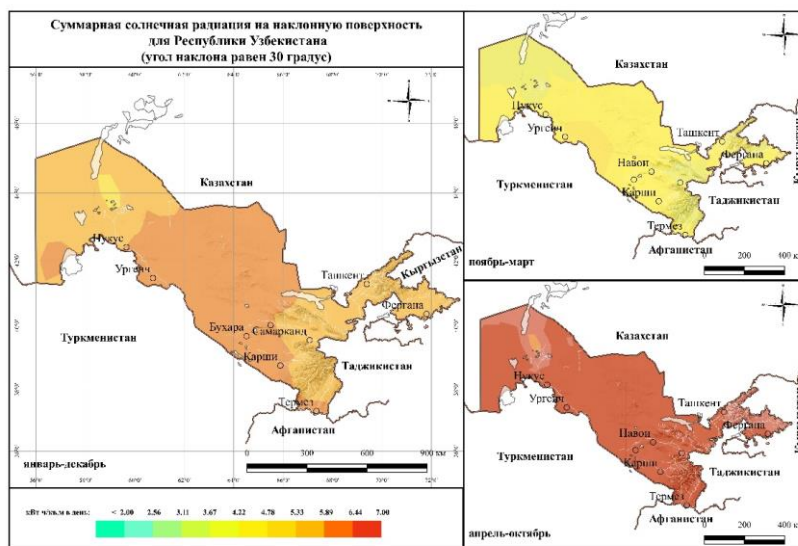


Рис. 3. Средние дневные суммы солнечного излучения в плоскости солнечного коллектора, установленного под углом наклона 30° к горизонту и ориентированного на юг, для территории Узбекистана, по сезонам года

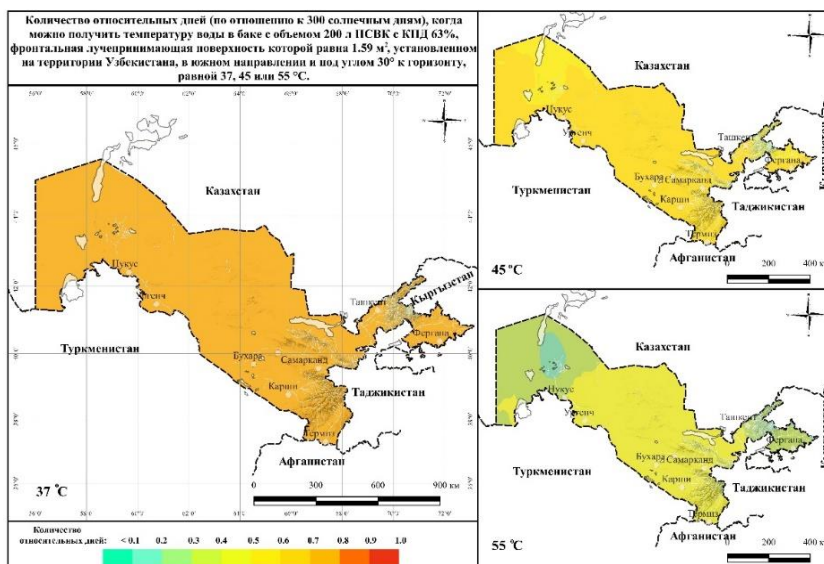


Рис. 4. Относительное количество дней, когда можно получить температуру воды больше 37°C, 45°C или 55°C, в баке объемом 200 л СВУ на основе солнечного коллектора ROYAL ASC-1808

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Карты выработки СВУ были построены по результатам расчета количества дней в течение которых температура в баке-аккумуляторе емкостью 200 л установки с коллектором ROYAL ASC-1808 превышает 37°C, 45°C или 55°C. Расчет выполнялся с учетом стационарных тепловых режимов, с КПД СВУ (63%), количество дней нормировалось на 300 дней (число ясных дней в году для Ташкента превышает 300 [42,43]). Предварительные расчеты прогнозируют получить горячую воду с температурой 37°C, 45°C и 55°C в течение 210-255, 180-225 и 90-120 дней в году, соответственно от рассматриваемых установок.

Заключение. Полученные результаты доказывают актуальность и востребованность использования СВУ в процессе их широкомасштабного применения в системах ГВС при переходе от централизованного теплоснабжения на автономное, и, тем самым, способствуют внесению изменений в существующие СНиПы, ШНК и другие нормативно-правовые документы, которые в свою очередь послужат модернизации сектора теплоснабжения республики с внедрением солнечных технологий, способствуя также снижению потерь тепловой энергии до уровня европейских показателей, повышению надежности и эффективности теплоэнергетической системы в целом.

Экономия природного газа в системах теплоснабжения за счет использования уже действующих 2155 СВУ, установленных в территории РУз в 2019-2020 гг, может составить 579 тыс. нм^3 , и 1440 т угля; при этом выбросы CO_2 уменьшатся на 790 т при замещении газа и на 4980-7610 т при замещении угля.

Расчеты показали, что в условиях Узбекистана для средней семьи, состоящей из 3-4 человек, в течение дня в среднем требуется не более 200 л горячей воды (по нормативу 300-400 л), и при использовании СВУ рассматриваемого типа позволит заместить 64%, 55% и 29% годового спроса на горячую воду температурой 37°C, 45°C и 55°C, соответственно.

Литература

1. REN21. Электронный ресурс: <https://ren21.net/gsr-2021/pages/foreword/foreword/>.
2. IRENA (2022), Renewable capacity statistics 2022 International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi. Электронный ресурс: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>.
3. Цели устойчивого развития. Электронный ресурс: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/>.
4. На пути к достижению нулевых выбросов. Электронный ресурс: <https://www.iso.org/ru/news/ref2682.html>.
5. Werner Weiss, Monika Spörk-Dür. Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends 2021. Detailed Market Figures 2020. 2022 Edition. – 88 pages. Электронный ресурс: https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/2022-IEA_SHC-Solar_Heat_Worldwide-3.pdf.
6. Duffie J.A., Solar Engineer of Thermal Processes/ Duffie J.A., Beckman W.A. Fourth Solution. –Hoboven New Jersey: John Wiley Sons. Inc., – 2013. –P.910.

7. Frid S.E., Mordynskii A.V., Arsatov A.V. Integrated Solar Water Heaters // Thermal Engineering. 2012. V. 59. No. 11. P. 874–880.
8. Бутузов В.А. Столетний опыт работы российских научных школ солнечного теплоснабжения// «Энергия: экономика, техника, экология», 2019, №2, 16-29.
9. Avezov R.R., Avezova N. R. et all. History and State of Solar Engineering in Uzbekistan// Applied Solar Energy, 2012, Vol. 48, No. 1, pp. 14–19.
10. Электронный ресурс: <https://lex.uz/docs/4486127>.
11. Электронный ресурс: <https://lex.uz/docs/4539506>.
12. Электронный ресурс: <https://lex.uz/docs/3405582>.
13. Электронный ресурс: https://www.norma.uz/proekty_npa/zakonoproekt_o_teplosnabjenii_vystavili_na_obsujdenie_povtorno.
14. Электронный ресурс: <https://lex.uz/docs/4624861>.
15. Электронный ресурс: <https://lex.uz/docs/3177186>.
16. Электронный ресурс: www.minenergo.uz.
17. Avezova N. R., Rakhimov E. Yu., and Izzatillaev Zh. O. Evaluation of Technical Capacity and Determination of Performance of Flat-Plate Solar Power Plants in Various Regions of the Republic of Uzbekistan// Applied Solar Energy, 2018, Vol. 54, No. 4, pp. 273–278.
18. Аvezов Р.Р. Повышение эффективности использования низкопотенциальных солнечных водонагревателей в системах теплоснабжения. Дис. докт. техн. наук. –М.: ЭНИН. 1990.
19. Аvezов Р.Р. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения/ Р.Р.Аvezов, А.Ю. Орлов. Ташкент: ФАИ. 1988. 284 с.
20. Avezova N.R., Avezov R.R. No-contact Method of Determining Average Working-Surface Temperature of Flat-Type Radiation Absorbing Thermal Exchange Panels of Flat Solar Collectors for Heating Heat Carrying Liquid// Applied Solar Energy. 2015. Vol. 51, No. 2, P. 85-87.
21. E. Yu. Rakhimov, Sh. E. Sadullaeva and et al. Analysis of the Solar Energy Potential of the Republic of Uzbekistan// Applied Solar Energy, 2017, Vol. 53, No. 4, pp. 344–346.
22. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. Доступно по <https://power.larc.nasa.gov/>.
23. Avezova N.R., Frid S.E., Lisitskaya N.V., Rahimov E.Yu. Resource Indicators of Solar Photovoltaic Plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2. Verifying Satellite Actinometric and Reanalysis Data for Conditions in Uzbekistan// Applied Solar Energy.- USA. 2019. Vol. 55, № 5, pp. 347–354.
24. CM SAF – Product navigator. Доступно по <https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewProduktSearch>.
25. Copernicus. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Доступно по <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-singlelevels?tab=overview>.
26. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р., Вохидов А.У., Куралов М.А., Хаитмухамедов А.Э., Усманов А.Ю., Рахимов Э.Ю. Коллекторы солнечные. Методы испытаний. – Ўзбекистон Республикаси Давлат стандарти. O'z DSt ISO 9806: 2020(ISO 9806:2017, MOD). – Утвержден и введен постановлением Агентства «Ўзстандарт» за № 05-1267 от 03.02.2021 г. – 51 с.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

27. Avezova, N.R., Avezov, R.R., Ruziev, O.S., et al., Resource indices of flat solar water-heating collectors in hot-water-supply systems. Part 2. Source data for calculations (external factors), Appl. Sol. Energy, 2013, vol. 49, no. 2, pp. 73–82.
28. Avezova, N.R., Avezov, R.R., Ruziev, O.S., Vakhidov, A., and Suleimanov, Sh.I. Longevity characteristics of flat solar water-heating collectors in hot-water-supply systems. Part 1. Procedure for calculating collector thermal output, Appl. Sol. Energy, 2013, vol. 49, no. 1, pp. 7–15.
29. Jung T.-H., Song H.-E., Ahn H.-K., and Kang G.-H., “A mathematical model for cell-to-module conversion considering mismatching solar cells and the resistance of the interconnection ribbon,” Solar Energy, 2014. vol. 103, pp. 253–262.
30. Электронный ресурс: <http://pogoda-service.ru/>.
31. Электронный ресурс: <https://tp5.ru/>.
32. A.Bahrami, A.Teimourian, Ch.O.Okoye, H.Shiri. Technical and economic analysis of wind energy potential in Uzbekistan Journal of Cleaner Production 223 (2019) 801-814.
33. Аvezова Н.Р. Моделирование процессов теплового преобразования солнечной энергии в плоских коллекторах и оптимизация их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения. Автореферат. дис. д.т.н., 2018.
34. Шардакова Л.Ю., Ковалевская Ю.И., Верещагина Н.Г. Последствие изменение климата //(НИГМИ УзГидромета). Адаптация к изменения климата: Примеры из Узбекистана и Казахстана, Ташкент 2012, - С-5-6.
35. Tursunov, M.N., Dyskin, V.G., Yuldashev, I.A. et al. A criterion of contamination of the glass surface of photovoltaic batteries. Appl. Sol. Energy 51, 163–164 (2015).
36. Электронный ресурс: <https://www.cbd.int/doc/nr/nr-06/uz-nr-06-ru.pdf>
37. Электронный ресурс: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/149067/dust-blankets-tashkent>.
38. Электронный ресурс: <http://royalthermo.uz>.
39. А.У. Вохидов, Ф.Ш. Касимов, М.А. Куралов, Д.У. Абдухамидов, М.Б. Шерматова. Результаты испытаний двухконтурной солнечной водонагревательной установки в холодный период года // Гелиотехника, 2017, - №2, - С. 29-32.
40. Р.Р. Аvezов, Н.Р. Аvezова, А.Ю. Усманов, А.У. Вохидов, К.Ю. Рашидов. Автоматизированный теплогидравлический испытательный стенд // Патент на полезную модель FAP 20200248 от 15.08.2020 г.
41. Электронный ресурс: <http://royalthermo.uz/product/asc-1808/>.
42. Frid S. E., Rakhimov E. Yu., Boliev B. B. Actinometric Data for Flat Receivers Solar Energy Units Performance Estimation// Applied Solar Energy, 2019, Volume 55, Issue 1, pp 78–82.
43. Avezova N.R., Rakhimov E.Yu. Orientation of Heated Premise in the Design of Insolation Passive Heating Systems// Applied Solar Energy, 2017, Vol. 53, No. 4, pp. 338–343.

*Представлено Физико-техническим институтом
Академии наук Республики Узбекистан*

УДК 631.544

КЕРАМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ ПЕРВИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**Р.Х. Рахимов, М.Р. Рахимов**

Функционал керамика асосидаги материалларнинг янги тури яратилди ҳамда уларда бирламчи манба энергиясини, шу жумладан қуёш энергиясини белгиланган параметрлар билан импульсли нурланишга айлантириши имконини бериши кўрсатилди. Улар қуритиши, стерилизация, пишириши, дори-дармон, тиббиет, иссиқхоналар ва ҳоказо жараёнларда ўзларининг юқори самарадорлигини кўрсатилди. Шу билан бирга ушбу мақолада функционал керамика томонидан импульсли ИҚ нурланишининг механизмини тушунтириши харақати келтирилган.

Разработан новый класс материалов на основе функциональной керамики, позволяющий преобразовать энергию первичного источника, в том числе солнечной, в импульсное излучение с заданными параметрами, и на этой основе показана высокая эффективность в процессах сушки, стерилизации, выпечки, медицине, горнодобывающей промышленности, теплицах и т.д. Представлены результаты, объясняющие возможности механизма генерации импульсного ИК-излучения функциональной керамикой.

A new class of materials based on functional ceramics has been developed, which makes it possible to convert the energy of a primary source, including solar energy, into pulsed radiation with specified parameters. They have shown their high efficiency in drying, sterilization, baking, medicine, mining, etc. processes. The purpose of this article is to explain the possible mechanism of generation of pulsed IR radiation by functional ceramics.

Введение. Преобразование энергии первичного источника может идти несколькими путями. Настоящая работа относится к области топологической фотоники — новой дисциплины, которая изучает возможности реализации состояний света, защищенных от рассеяния на неоднородных структурах, и перспективных с точки зрения создания устройств, устойчивых к беспорядку [1-4]. Если рассматривать вещества на микроуровне с помощью метода структурных единиц, то остаются не решенными вопросы: что накапливает тепловую энергию в кристаллической структуре, почему количество фотонов увеличивается с ростом температуры, что рождает фононы в межатомном пространстве, почему излучение тепловой энергии представляет сплошной спектр излучения. Если рождение фононов порождается колебательными движениями атомов, то не понятно, что излучает электромагнитные волны и где они зарождаются. Согласно квантовой теории атомам «запрещено» излучать непрерывный спектр излучения. Кроме того, квантовая механика при абсолютном нуле требует, чтобы все колебательные движения атомов затухали; правда не запрещает иметь собственную частоту колебаний.

В данной статье будет рассматриваться схема активного преобразования энергии первичного источника в импульсное излучение, в котором теоретической основой является квантовая электродинамика основоположником которой является Р.Фейнман[5].

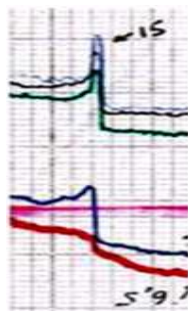


Рис. 1. Спектр излучения при мощностях излучения подающихся на керамику, Вт/см², соответственно, 1(красн); 2(син); 3(зел); 4(черн) и 5(фиол)

Целью данной статьи является качественное объяснение возможного механизма генерации инфракрасного импульсного излучения функциональной керамикой.

Как известно, активное преобразование энергии в основном всегда идет в импульсном режиме, так далее квант энергии вначале поглощается преобразователем (в том числе и функциональной керамикой), а затем, выделяется уже с другой энергией.

Особенность предлагаемых импульсных преобразователей спектра излучения первичного источника, заключается в том, что топологически генерация импульсов происходит одновременно, синхронно.

В процессе работы было предложено несколько возможных механизмов образования импульсного излучения функциональной керамикой [6-8].

Исследования спектра излучения керамики в работах [6-8], вызванного излучением нити накала, показали, что спектр керамики содержит импульсы ИК-излучения длиной волны ~16 мкм (рис. 1) и длительностью ~10 мксек. Отметим что, спектр излучения снимался псевдодвухлучевым методом на приборе "СПЕ-КОРД" в Курчатовском институте.

Как видно из рис. 1, с увеличением мощности падающего на керамику излучения накала лампы, интенсивность импульсной фотолюминесценции растет, а порог начала генерации ИК-импульсов меньше 1 Вт/см². Характерно, что, несмотря на значительное увеличение мощности, максимум излучения не смещается, что говорит об активном преобразовании.

Керамика с энергетическим барьером и двухимпульсное температурное излучение. В спектре одного из типов ИК источников имеется двухимпульсное ИК излучение длиной волны ~ 16 мкм, длительностью ~ 25 мксек (Рис.2).

В [1] предложен один из возможных вариантов качественного объяснения возникновения генерации двухимпульсного температурного излучения. Следует сказать, что предложенные модели не объясняют самого главного – причины синхронного поверхностного или объемного запуска генерации импульсов ИК-излучения функциональной керамикой.

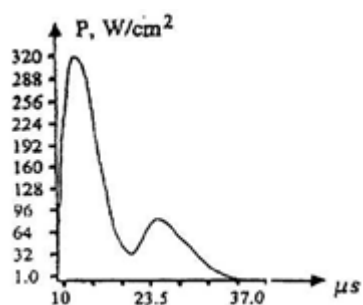


Рис.2. Двухимпульсное излучение керамики

Наблюдаемые эффекты показывают, что генерация ИК-импульсов происходит согласованно всей поверхностью излучателя.

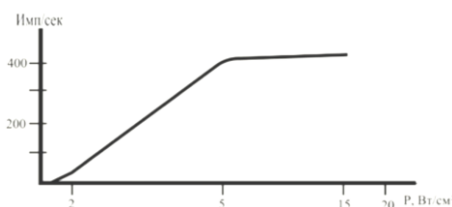


Рис. 3. Зависимость частоты следования импульсов от подаваемой мощности

Как следует из приведенных данных, максимальная частота следования импульсов постепенно возрастает с увеличением мощности нагревателя, но после определенного предела не превышает для данной керамики ~ 434 Гц (рис.3). Это может быть объяснено тем, что накопление энергии имеет фононный механизм [4-6]. Действительно, если сопоставить максимальную частоту генерации импульсов и скорость звука в керамике, - так как фононы, это механические колебания осцилляторов, то наблюдается хорошее соответствие полученных результатов.

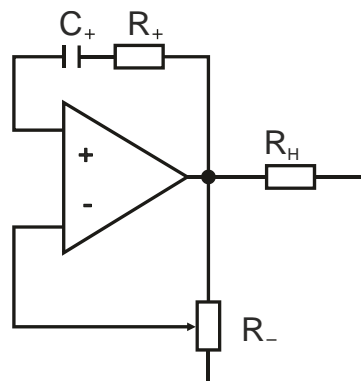


Рис. 4. Эквивалентная схема генератора

Для того, чтобы ответить на вопрос как происходит синхронизации генерации импульсов керамическими преобразователями на основе функциональной керамики, необходимо рассмотреть работу электронного частотного генератора, как аналога (рис.4). Для запуска режима генерации, необходимо обеспечить положительную обратную связь. От ее глубины будет зависеть форма генерируемых сигналов. При относительно неглубокой положительной обратной связи будет генерироваться сигнал синусоидальной формы.

Увеличение глубины положительной обратной связи, приведет к все более возрастающим искажениям синусоидальной формы и, в конечном итоге, будут генерироваться сигналы прямоугольной или близкой к прямоугольной форме импульсы. В случае электронного аналога генератора положительная обратная связь может подаваться через RC-цепочку, или иметь трансформаторную связь и т.д.

Но как подается положительная обратная связь, когда необходимо преобразовать в импульсы световую волну? При нагреве, осциллятор функциональной керамики, поглощая фононы (которые могут быть образованы и из фотонов энергии первичного источника энергии), перебрасывает носители заряда на более высокий энергетический уровень и, достигая уровня энергии, позволяющей преодолеть энергию активации, возвращается на исходный энергетический уровень, выделяя при этом накопленную энергию в виде импульса ИК (фотон). Этот процесс повторяется, пока поступает энергия от внешнего источника. Генерация импульсов в обычной системе (где в качестве преобразователя выступают керамика, металл, стекло и др.), происходит хаотично и не согласованно по времени. Принцип согласования генерации импульсов функциональной керамикой по всему объему заключается в следующем.

Допустим, имеется система, которая может активироваться и собственным, генерируемым излучением. В этом случае выделившийся осциллятором первый импульс в любой конкретной точке объема преобразователя, поглощаясь другим осциллятором, где накопленная энергия еще не достигла энергии активации и не может преодолеть энергетический барьер, поднимает уровень энергии носителей заряда до уровня энергии активации. Получив недостающую часть энергии, этот носитель заряда преодолевает энергетический барьер, высвобождает накопленную энергию в виде фотона. При этом наблюдается цепная реакция, приводящая к синхронизации генерации импульсов с незначительным временным отставанием, которое обусловлено временем, необходимым для прохождения света от одного осциллятора до других, а также и с инерционностью системы поглощение-генерация в объеме функциональной керамики. Учитывая, что керамика имеет объем, а процессы, о которых сказано выше происходят в этом объеме, то можно сделать вывод, что импульс в глубинных слоях может поглощаться осцилляторами, находящимися на поверхности излучателя. Таким образом, синхронная генерация импульсов идет на поверхности излучателя, но, преимущественно за счет процессов, идущих во всем объеме. Этот фактор очень важен, так как позволяет в определенных пределах регулировать режим генерации импульсов. Действительно, при очень тонких слоях, если генерированный осциллятором фотон поглотился другим осциллятором, то он просто транслировался бы на него.

Когда же толщина излучателя большая, то фотоны, высвобожденные в объеме, активируют поверхностные осцилляторы. Теперь уже фотоны этих осцилляторов беспрепятственно могут выделяться во внешнюю среду. В действительности, процесс идет значительно эффективнее, так как исходные фононы имеют высокую квантовую энергию, а генерированные - более низкую. От глубины обратной связи будет зависеть не только синхронность генерации импульсов, но и их параметры. **Чем более чувствительна система к поглощению собственного излучения (положительная обратная связь большой глубины), тем более крутой фронт нарастания импульса будет наблюдаться.** Другими словами, можно регулировать один из основных параметров ИК-излучения – фронт нарастания импульса (Рис. 5). Механизм изменения скорости нарастания импульса заключается в том, что, изменяя соотношение между двумя типами материалов – функциональной керамики, генерирующей импульсы высокой плотности и керамики прозрачной в широком диапазоне инфракрасного диапазона, можно регулировать наклон фронта нарастания импульса.

Этот наклон воздействует как излучение с длиной волны, соответствующей синусоиде этого наклона. Следует также отметить, что в процессе преобразования солнечной радиации в инфракрасное излучение, каждый фотон с энергией 1,5-2 эВ, теоретически может создать более 10 фотонов с энергией 0,1-0,2 эВ. Энергии этих фотонов достаточно для избирательного воздействия на большинство технологических процессов.

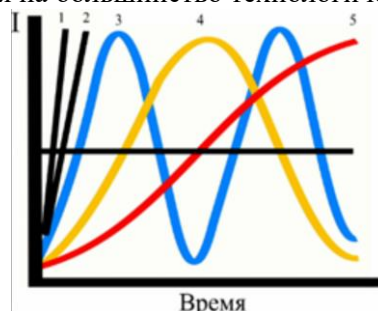


Рис. 5. Графическое изображение фронта нарастания энергии для излучений с различной длиной волны. Фронт нарастания импульса можно рассматривать как часть синусоиды, соответствующей длины волны

Таким образом, вероятнее всего, энергия первичного источника преобразуется в фононы, которые затем трансформируются функциональной керамикой в импульсное инфракрасное излучение.

Следует особо подчеркнуть, что увеличение мощности нагревателя не сказывается на параметрах импульса. Увеличивается лишь частота следования импульсов. В приборах, созданных на основе функциональной керамики, преобразующей энергию первичного источника в ИК-импульсы с определенными временными и спектральными характеристиками (керамика МС-1 и серии R), было обнаружено явление скачкообразного подъема температуры, спустя некоторое время после отключения питания прибора. Другими словами, в начальный момент температура снижается, но после достижения определенной температуры

наблюдается ее возрастание, затем, дальнейшее относительно плавное снижение (рис.6).

Возможный механизм этого явления заключается в следующем. Преобразование энергии первичного источника в инфракрасные импульсы высокой плотности начинается с определенного уровня мощности (рис. 1). В начальный момент после отключения питания инерция излучателя поддерживает температуры выше порога генерации функциональной керамики. При дальнейшем снижении температуры частота следования импульсов также снижается. После того, как уровень тепловой мощности за счет охлаждения излучателя становится ниже порога начала генерации, керамика перестает трансформировать энергию первичного источника в инфракрасные импульсы с низкой яркостной температурой. В этом случае, наблюдается широкий спектр излучения, с максимумом, который можно определить на основании закона Вина.

В спектре присутствует и более коротковолновое излучение, чем ИК-излучение генерируемое функциональной керамикой, следовательно, присутствует и излучение с яркостной температурой выше, чем яркостная температура преобразованного излучения. В результате наблюдается температурный скачок. В дальнейшем происходит естественное снижение температуры в соответствии с добротностью системы в целом (рис. 6).

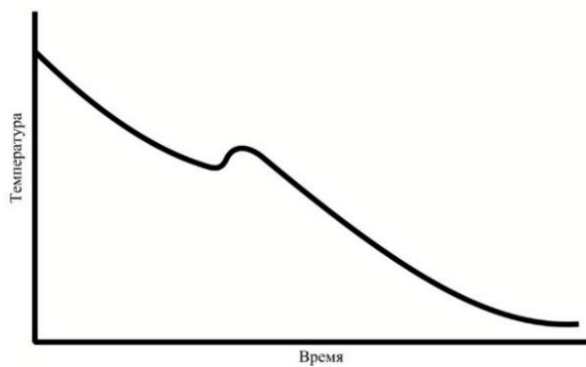


Рис.6. Изменение температуры в камере после отключения питания прибора

Исходя из сказанного, можно заключить, что температурный скачок в приборах, созданных на основе функциональной керамики, преобразующей энергию первичного источника в ИК-импульсы с определенными временными и спектральными характеристиками, обусловлен снижением температуры первичного источника ниже порога генерации инфракрасных импульсов функциональной керамикой.

В последние годы появились публикации, посвященные преобразованию ИК-излучения в видимое и генерации фотонов из фононов [9-11]. Отличие заключается в том, что наши системы работают на принципе генераторов с положительной оптической обратной связью, а в представленных статьях — на принципах модуляции лазерного излучения ИК-излучением исследуемого объекта. Что касается механизма преобразования фонон-фотон, они мало чем отличаются в этих подходах.

Имеется ряд интересных работ по преобразованию первичного спектра излучения оптическими средами [12-18].

Таким образом, разработан класс материалов, позволяющих преобразовывать непрерывное излучение широкого спектрального диапазона, в том числе и энергию Солнца, в импульсное излучение в относительно узком спектральном диапазоне.

Заключение. 1. Материалы на основе функциональной керамики позволяют преобразовать широкий спектр первичного источника энергии в относительно узкий, в заданном диапазоне.

2. Преобразователи на основе функциональной керамики позволяют генерировать импульсное излучение в инфракрасном диапазоне с высокой плотностью энергии и заданным фронтом нарастания импульса.

3. Механизм преобразования носит фотон-фонон-фотонный характер.

4. Необходимым условием генерации по данному механизму, для повышения эффективности преобразования, является каскадное преобразование энергии первичного источника.

Литература

1. Мочалов А.А., Шаповал Н.А., Ткаченко Т.А., Бойко Е.П. Анализ взаимосвязи фононов и фотонов. DOI: 10.15587/2313-8416.2017.102416. Scientific Journal «ScienceRise» №5/2(34)2017, -С.45-48.

2. Kimble, H. J. Photon Anti-bunching in Resonance Fluorescence [Text] / H. J. Kimble, M. Dagenais, L. Mandel // Physical Review Letters. – 1977. – Vol. 39, Issue 11. – P. 691–695. doi: 10.1103/physrevlett.39.691.

3. Мочалов, А. А. Исследования температурных характеристик твердого тела на микроуровне с помощью метода структурных единиц. Журнал нано- и электронной физики. – 2014. – Т. 6, № 4. – С. 76–80.

4. Рахимов Р.Х., Саидов М.С. Солнечно-радиационный нагрев и импульсная фотолуминесценция микрозернистой керамики с межзеренными геторослоями. Гелиотехника, 2001, № 2. -С. 71-74.

5. Фейнман Р. КЭД - Странная теория света и вещества. – М.:Издательство: Астрель 1985, -194 с.

6. Рахимов Р.Х., Саидов М.С. Керамика с энергетическим барьером и двухимпульсное температурное излучение. //Гелиотехника. 2002. -№ 3, -С.60-68

7. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Саидов М.С. Импульсное ИК-излучение керамических покрытий и солнечно-тепловые излучатели. //Гелиотехника 2005, №4, -С.56-62.

8. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Саидов М.С. Керамические покрытия и возможность использования фотонной теплопроводности в солнечных сушилках. /Материалы 6-ой Республиканской конференции «Рост, свойства и применение кристаллов», Нукус, 2005. -С. 86-87.

9. Kuze, H. Suto, M. Nakajima, T. Hamazaki, Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on the Greenhouse Gases Observing Satellite for greenhouse gases monitoring. Appl. Opt. 48, 6716-6733 (2009). doi:10.1364/AO.48.006716 Medline.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

10. Xue Jiang, and all. Direct observation of Klein tunneling in phononic crystals. Science • 18 Dec 2020 Vol 370, Issue 6523 pp.1447-1450 DOI: 10.1126/science.abe2011 <https://kolibri.press/132863>.

11. https://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/fotonnofononnyj_proryv_fiziki_soedini_dva_sostoyaniya_veshchestva.

12. https://bstudy.net/873219/tehnika/preobrazovanie_izlucheniya_opticheskimi_sredami.

13. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1626.pdf>.

14. https://bstudy.net/873215/tehnika/obschie_svoystva_izlucheniya_preobrazovanie.

15. <https://patents.su/2-390613-sposob-preobrazovaniya-spektralnoj-karakteristiki-istochnikov-izlucheniya-opticheskogo-diapazona.html>.

16. <https://findpatent.ru/patent/39/390613.html>.

17. <https://www.freepatent.ru/patents/2075105>.

18. <https://patents.google.com/patent/RU2263938C1/ru>.

*Представлено Национальным научно-исследовательским
институтом возобновляемых источников
энергии при Министерстве энергетике Республики Узбекистан*

УДК 620.92

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ: ПРОГРЕСС, ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ**Н.А. Мурзакулов, Э.Б. Саитов, Ж.Б. Тошов**

Ушбу ишда паст хароратли ва кўп погонали кремний намунасини лигерлаш усули билан германий кластерларини ҳосил қилиш кўрсатилган. Намунадаги кластер 0,1÷5 мкм ўлчамгача легирлаш шароитини ўзгартириш орқали бошқариш мумкин. Бу кластерларнинг асосий хусусияти уларнинг бутун хажм бўйича тақсимланганлиги ва легирлаш орқали $N_v=10^{10}\div 10^{12}\text{см}^{-3}$ концентрацияларда ўзгартириш мумкин. Намунани 850°C хароратда ишлов бериш микрогетереўтиш Si-SiGe-Si ҳосил қилиш ва бу орқали қуёш элементларининг фойдали иш коэффициентини 2÷2.5% ошириш имконини беради.

Показано, что в условиях низкотемпературного и многоэтапного легирования кремния, атомы никеля в решетке создают кластеры. Управляя условиями легирования можно варьировать размеры таких кластеров в широком диапазоне 0,1÷5 мкм. Особенность таких кластеров атомов Ge заключается в том, что они распределены по всему объему кристалла и, в зависимости от условия легирования, концентрация кластеров достигает $N_v=10^{10}\div 10^{12}\text{см}^{-3}$. Установлено, что отжиг при 850°C монокристаллического кремния, легированного германием, приводит к образованию внутренних микрогетеропереходов Si-SiGe-Si, которые повышают на 2,5% эффективность солнечных элементов изготовленных на их основе.

It is shown that under conditions of low temperature and multi-stage doping of silicon, nickel atoms in the lattice create clusters. By controlling doping conditions one can vary the size of the clusters in a wide range of 0,1÷5 microns. The peculiarity of such clusters of Ge atoms is that they are distributed throughout the volume of the crystal and, depending on the conditions of doping the concentration reaches $N_v = 10^{10}\div 10^{12}\text{cm}^{-3}$. It is found that annealing at 850°C of monocrystalline silicon, doped by germanium leads to the formation of internal micro-hetero-junctions of Si-SiGe-Si, which increases by 2÷2.5% the efficiency of solar cells manufactured on their basis.

В настоящее время солнечные элементы на основе кремния практически достигли своих максимальной эффективности, коэффициент полезного действия подобных элементов более ~22%. Такое ограничение связано в основном с невозможностью использования для фотогенерации носителей заряда энергии широкого инфракрасного спектра Солнца ($\lambda=1,2\div 3$ мкм), которая составляет ~40% общего потока. Существующие в настоящее время технологические методы изготовления эффективных солнечных элементов (ФЭ) со стабильными парамет-

рами и максимальным коэффициентом полезного действия (КПД) практически достигли своего предела. Для дальнейшего повышения основных параметров ФЭ необходимо использовать новые полупроводниковые материалы или новые физические явления [1].

Данная проблема хотя частично и решается с использованием многокаскадных фотоэлементов на основе полупроводниковых соединений, таких как GaAs, AlGaAs, тем не менее, технология изготовления таких фотоэлементов не только достаточно сложна, но требует также наличия дорогостоящего оборудования. Вместе с тем их цена не позволяет широкомасштабного использования и создания на их основе мощных солнечных станций. Поэтому данная проблема может быть успешно решена только на основе разработки новых классов полупроводниковых материалов или на основе новых физических явлений. Реальным способом повышения параметров ФЭ является использование монокристаллических фотопреобразователей на основе внутренних гетеропереходов германий кремний, которые открывают широкие возможности в конструировании приборов фотовольтаики нового поколения. Для системы Ge–Si в институте физики полупроводников СО Российской АН разработаны методы получения массивов квантовых точек Ge, распределенных на атомарно чистой поверхности Si. Объединение плотного массива нанокластеров в объеме полупроводниковой матрице квантовым транспортом носителей заряда в единую электронно дырочную подсистему позволяет говорить о появлении нового класса полупроводников с промежуточной или отщепленной разрешенной зоной. Теоретические оценки показывают, что при низкой себестоимости производства, эффективность преобразования излучения в электричество для таких материалов может достигать 60%. Поэтому становится весьма актуальным исследование возможности синтеза материала с кластерами Ge в кремниевой матрице и изготовления ФЭ на его основе [2].

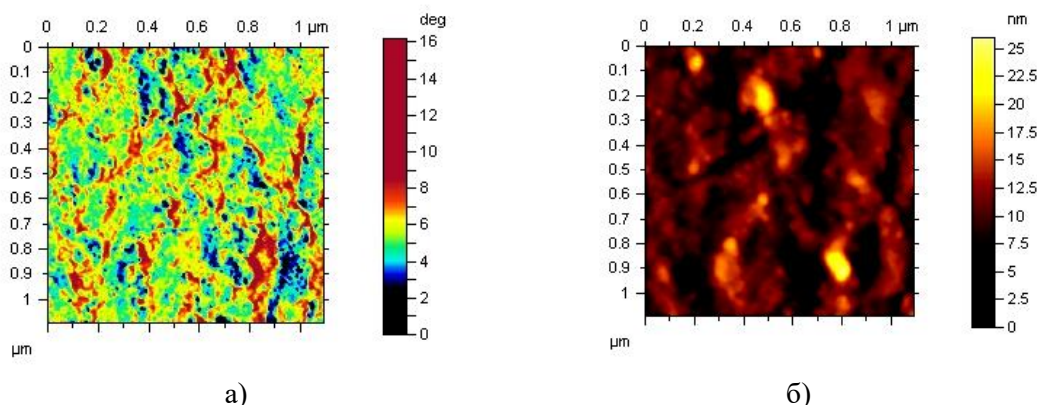
В этом плане представляют большой научный и практический интерес моноатомные, а также большего размера кластеры примесных атомов в решетке кремния, которые позволяют формировать нановаризонные структуры с управляемой шириной запрещенной зоны. Технология формирования таких кластеров в решетке кремния с необходимыми параметрами может быть успешно реализована на основе низкотемпературной диффузии.

Установлено, что при определенных термодинамических и технологических условиях легирования кремния можно сформировать нано- и микрокластеры как на поверхности, так и в объеме кристалла с заданной плотностью. Для формирования кластеров бинарных, соединений необходимо учесть химическую активность, растворимость, коэффициенты диффузии, а также состояние примесных атомов в решетке. Также необходимо определить термодинамические условия образования комплексов между этими примесями, в результате которых формируется новая элементарная структура в решетке кремния. На основе экспериментальных исследований установлено, что для формирования бинарных кластеров более эффективными примесными атомами являются атомы элементов VI группы (S, Se, Te), а также быстро диффундирующие примесные атомы элементов II группы, а также группы железа [3]. Нами были получены такие кластеры. В случае моноэлементных кластеров особенно интересен Ge.

Содержание атомов германия и их распределение по глубине исследовалось с помощью рентгеновского микрозондового анализатора Jeol Super Probe JXAА8800, а также на атомно силовом микроскопе Agilent 5500. Для исследования параметров ФЭ в одинаковых условиях использовался имитатор солнечного излучения, изготовленный на основе лампы накаливания с корректирующим фильтром. Для получения строго параллельного направления излучения применялся сферический отражатель и конденсатор, состоящий из двух плосковыпуклых линз. Лампа, используемая в имитаторе, имела мощность 1000 Вт и “квази-плоскую” спираль накала, что позволяло получить малую неравномерность плотности потока излучения по поверхности испытуемого ФЭ. Коррекция спектра лампы до солнечного АМ 1.5, проводилась с помощью специального жидкостного фильтра [4].

В качестве исходного объекта нами был использован монокристаллический кремний как n, так p типа с концентрации фосфора $N_P=10^{13} \div 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а концентрация бора $N_B=10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Использованные образцы имели минимальное дислокации, плотность которых составляло $N_D < 10^2 \text{ см}^2$. Выбор примесей с различными концентрациями и типом диктовался тем, чтобы определить тип и концентрации примесных атомов в формировании кластеров.

Диффузия германия проводилась по специально разработанной технологии низкотемпературной диффузии. Исследуемые образцы и, соответственно диффузант, – чистый германий с определенной массой (определяется объемом ампулы) находится в откачанных кварцевых ампулах (давление в ампуле $\sim 10^{-6}$ мм.рт.ст), которые вносятся в диффузионную печь при $T=300^{\circ}\text{K}$. После этого с $T=300^{\circ}\text{K}$ температура печи на месте нахождения ампулы постепенно увеличивается со скоростью 5 град/мин и нагревается до температуры промежуточной обработки при которой выдерживается в течении определенного времени, затем температура печи поднимается достаточно быстро $t=(15 \div 20)$ град/мин до температуры диффузии (1523°C), и при этой температуре образцы выдерживались 40 минут, после чего ампулы вынимаются из печи и охлаждаются.



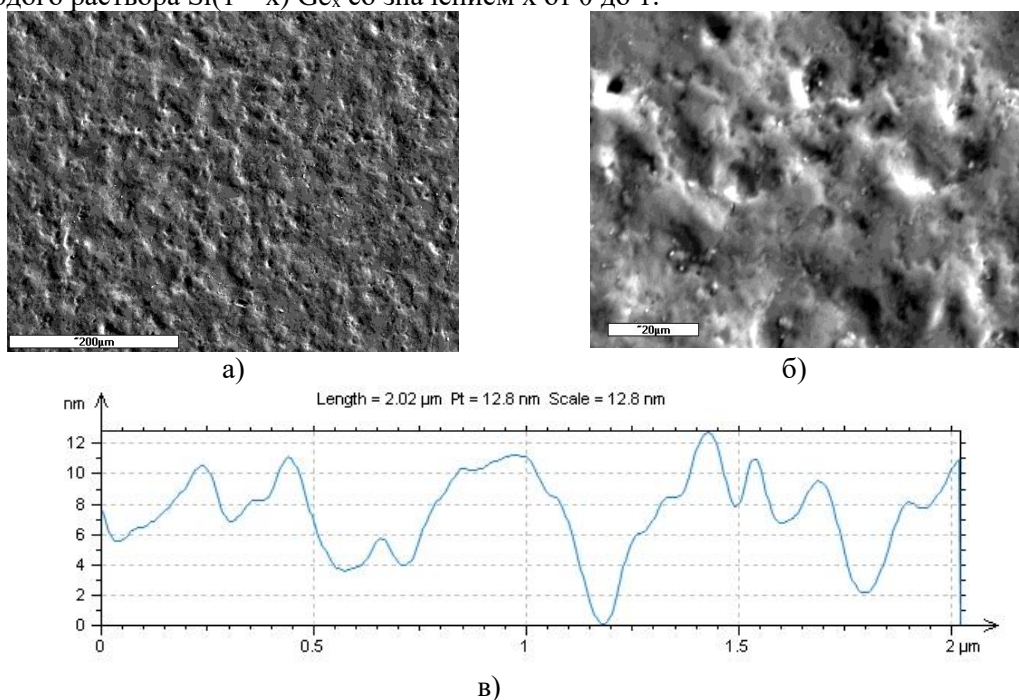
а) распределение кластеров германия на поверхности кремния по цвету:
б) распределение кластеров германия на поверхности кремния:

Рис. 1. Фотография приповерхностной области распределение кластер кремния легированного Ge, после отжига при $T = 850^{\circ}\text{C}$ в течение 3 ч (АСМ)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

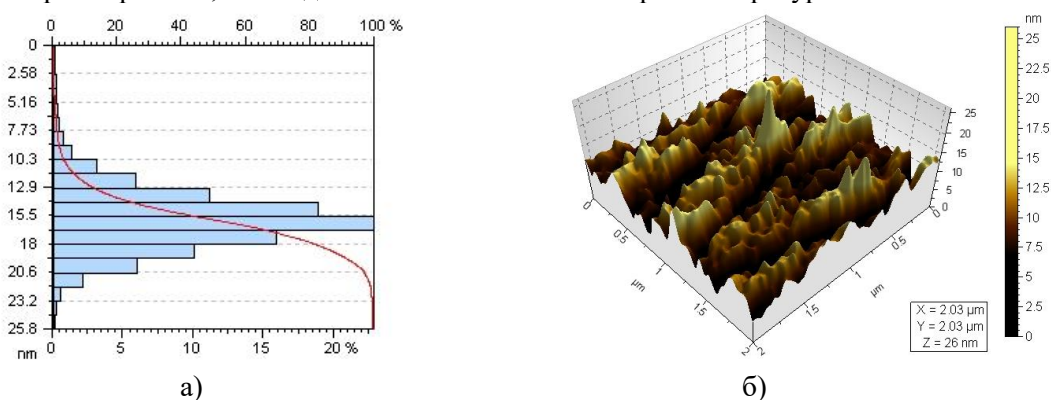
Такие условия легирования обеспечивают введение максимальной концентрации Ge в решетки Si и однородность легирования по всему объему. На основе полученного материала с микрогетеропереходами Si-Si Ge-Si изготавливался ФЭ р-n-переход, который формировался диффузией бора с использованием пластин нитрида бора. Глубина р-n-перехода составляла 0,5 мкм [5]. Токосъемные контакты создавались термическим напылением никеля через маску в вакууме, которые залуживались припоем ПОСКК. В качестве просветляющего покрытия применялся слой SiO₂ толщиной 0,1 мкм. Фотоэлементы изготавливались в виде параллелепипедов, имеющих размеры 1,5 см 2 см, при толщине 380 мкм.

На рис. 1 представлено распределение атомов германия в приповерхностной области полученных образцов. Видно, что до глубины 1 мкм на поверхности содержание атомов германия больше, чем атомов кремния, т.е. получается варизонная структура на основе непрерывного твердого раствора Si(1-x) Ge_x с x>0.5, дальше содержание атомов германия резко снижается, и при d > 3 мкм уменьшается настолько, что из-за ограниченности чувствительности прибора их содержание трудно определить. Управляя скоростью нагрева между этапами диффузии и выбирая параметры этапов в процессе диффузии удастся получить твердый раствор Si(1-x) Ge_x с необходимой толщиной и составом. Таким образом, можно получить в кремнии варизонную структуру на основе непрерывного твердого раствора Si(1-x) Ge_x со значением x от 0 до 1.



а) и б) общий вид приповерхностной области кремния, легированного Ge:
в) расположение кластеров на поперечном сечении образца Si, легированного Ge.
Рис. 2. Общий вид приповерхностной области кремния легированного Ge, до и после отжига при T = 850°C в течение 3 ч (АСМ и Jeol)

Установлено, что дополнительный отжиг полученных образцов при температурах 700–1050°C, позволяет образовывать микрогетеропереходы Si–SiGe–Si в решетке кремния. При этом существенную роль играют конкретная температура и время дополнительного термоотжига. Экспериментально установлено, что для образования микрогетеропереходов Si–SiGe–Si, оптимальным является термоотжиг при температуре 850°C в течение 3 ч. На рис. 3 показано перераспределение атомов германия в поверхностной области кремния и образование кластеров германия, после дополнительного отжига при температуре 850°C.



а) дифференциальное распределения примесных атомов Ge в кремния:
 б) топология примесных атомов Ge в кремнии

Рис. 3. Распределение атомов германия в приповерхностной области, полученные на атомном силовом микроскопе (АСМ)

Результаты экспериментов показывают, что можно управлять структурой, концентрацией и размерами кластеров атомов германия, как по поверхности, так и по толщине.

В таблице приведены параметры ФЭ без атомов германия, параметры ФЭ с атомами германия без образования кластеров и параметры ФЭ с кластерами германия, после дополнительного отжига в течение 3 ч при температуре 850°C, приводящего к образованию микрогетеропереходов Si–SiGe–Si в кристаллической решетке кремния. Измерение параметров ФЭ проводились при плотности мощности излучения 800 Вт/м² и температуре 20°C.

Как видно из табл.1, эффективность работы ФЭ с микрогетеропереходами Si–Ge на 2.5% выше параметров ФЭ без германия, а также выше параметров солнечных элементов, содержащих германий, но не подвергнутых кластерообразующему отжигу в оптимальном режиме [7-16]. Увеличение эффективности работы ФЭ обусловлено, с одной стороны стабилизацией исходных параметров Si легированного Ge, а с другой - поглощением микрогетеропереходами Si–SiGe–Si ИК спектра солнечного излучения. Также мы предполагаем, что вклад в фототок дают субзонные кванты, генерируемые отдельными связями Si–Ge вне кластеров.

Согласно анализу полученных результатов исследования, можно сделать вывод, что в материале Si (P, Ge), содержащем кластеры германия, образуется

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

структура с микрогетеропереходами Si–SiGe–Si, способная поглощать излучение солнечного спектра, начиная с энергии квантов 0.67 эВ.

Таблица 1

Кремниевые солнечные элементы					
Эффективность преобразования, (%)					
№	температура отжига, °С	Контрольные ФЭ на основе Si (P) без Ge	ФЭ на основе Si (P, Ge)		
			Без микрогетеропереходов Si/SiGe/Si	С микрогетеропереходами с поверхностной плотностью кластеров 3 мкм	С микрогетеропереходами с поверхностной плотностью кластеров 20 мкм
1	600	16,1	16,9	18,6	19
2	700	16,3	16,7	18,8	20,2
3	800	15,9	16,8	18,7	20
4	850	16,2	16,5	18,5	22,4
5	900	16,2	16,9	18,9	21,3
6	950	16,1	16,8	18,5	20,6

Оптимальной является концентрация легирования кремния Ge $1,5 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, с последующим термоотжигом образцов при температуре 850°С в течение 3 ч. В образцах с аналогичной концентрацией атомов германия, но не подвергнутых дополнительному термоотжигу такого эффекта не наблюдается. При большей концентрации легирования кремния Ge, параметры солнечных элементов, вне зависимости от температуры и времени дополнительного термоотжига, резко ухудшаются и становятся невоспроизводимыми.

Литература

1. Бахадырханов М.К., Исамов С.Б., Зикриллаев Н.Ф., Аюпов К.С., Асанов Д., Сатторов О. Возможность формирования наноразмерных варизонных структур в решетке кремния. / Россия. Кремний 2012, Санкт-Петербург.
2. Hermann G. Grammies “Silicon germanium – a promise into the future?” // ФТП. 1999. Т. 33. -№9. - С. 1032–1034.
3. Эгамбердиев Б.Э., Зикриллаев Н.Ф., Насриддинов С.С., Валиев С.А. Разработка нового способа диффузионного легирования для формирования нанокластеров примесных атомов никеля. / Международная научно-практическая конференция: Современные материалы, техника и технология в машиностроении. 2012. Андижан.
4. Саидов А.С., Кутлимуратов А., Сапаев Б., Давлатов У.Т. Спектральные и вольтамперные характеристики Si–Si(1–x) Ge_x гетероструктур, полученных методом жидкофазной эпитаксии// Письма в ЖТФ. 2001. V. 27. № 8. -С. 26–35.
5. В.А. Abdurakhmanov, М.К. Bakhadir Khanov, Е.В Saitov and other // Formation of Clusters of Impurity Atoms of Nickel in Silicon and Controlling Their Parameters Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 4 No. 2, 2014.
6. Bakhadyrkhanov M. K., Isamov S.B., and Zikrillaev N.F. IR Photodetectors in the Range of $\lambda=1,5\text{--}8\mu\text{m}$, Based on Silicon with Multicharged Nanooclusters of Manganese Atoms, Microelectronika Vol. 41, No. 6, pp. 433-435.2012.

7. Markov V.A., Pchelyakov O.P., Sokolov L.V., Stenin S.I., Stoyanov S.S. Molecular beam epitaxy with synchroni ization of ofnucleation // Surface Science. 1991. V. 250. № 1–3. - С. 229–234.
8. Gundas, S. P. renewable energy sources / S. P. Gundas, S. S. Paznyak, L. V. Shenets. - Minsk: IPSO they are. A. D. Sakharova, 2009. - 390 b.
9. Automatic cleaning system for solar panels and method thereof: par. US 8323421 F24J 2/40 / Lee, HanLung Publ. date 29.10.2009. Mode of access.
10. Saitov E.B., Kodirov Sh., Beknazarova Z.F., Nortojiyev A., Siddikov N. Developing Renewable Sources of Energy in Uzbekistan Renewable Energy Short Overview: Programs and Prospects. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 020015.
11. Mazumder M., Horenstein M.N., Stark J.W., Girouard P., Sumner R., Henderson B., Sharma R. Characterization of electrodynamic screen performance for dust removal from solar panels and solar hydrogen generators. // IEEE transactions on industry applications 2013. – V.49. №4. – P.1793-1800.
12. Mani M., Pillai R. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. – V.14. – P.3124-3131.
13. Шардакова Л.Ю., Ковалевская Ю.И., Верещагина Н.Г. Последствие изменения климата: эрозия почв и как с ней бороться / (НИГМИ Узгидромета) «Адаптация к изменению климата: примеры из Узбекистана и Казахстана» Ташкент. 2012. – С.5-6.
14. Saitov, E.B., Sodiqov, T.B. Modeling an Autonomous Photovoltaic System inthe Matlab Simulink Software Environment. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 020022.
15. Saitov E.B., Kodirov Sh., Kamanov B.M., Imomkulov N., Kudenov I. Increasing the Efficiency of Autonomous Solar Photovoltaic Installations for Power Supply of Agricultural Consumers. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 040036.
16. Zikrillayev F., Saitov E.B., Toshov J.B., Piyasov B.K., Zubaydullayev M.B. A Software Package for Determining the Optimal Composition and Parameters of a Combined Autonomous Power Supply System Based on Renewable Energy Sources. AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2022, 2432, 020021.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК: 621.472.383.56

**ФОТОЭЛЕКТРИК ВА ФОТОИССИҚЛИК БАТАРЕЯЛАРИНИ
ТЕХНИК-ИҚТИСОДИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИНИ БАҲОЛАШ**

М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, У.Р. Холов, С.Қ. Шоғўчқоров

Мақолада қайта тикландиган энергия манбаларидан фойдаланиш экологик талабларга мувофиқ бутун дунёда долзарбдир. Мақолада истеъмолчиларни электр ва иссиқлик энергияси билан таъминлашда фотоэлектрик батарея (ФЭБ) лардан рационал фойдаланиш учун фотоиссиқлик батарея (ФИБ) лар ва қуёш нурланиш оқим зичлигини оширувчи рефлекторлар ёрдамида тадқиқотлар амалга оширилди. Физика-техника институтида иссиқлик абсорбери ва қуёш нурланиш оқим зичлигини оширувчи рефлекторлар ёрдамида ФИБ нинг электрофизик иссиқлик-техникавий параметрларини ўрганиш учун тажриба қурилмаси ишлаб чиқилди. Тадқиқотнинг мақсади қишлоқ аҳолисини ишончли электр энергияси ва иссиқ сув билан таъминлаш мақсадида автоном фотоэлектрик станцияларини ФИБ режимида қўллаш синовдан ўтказиш, техник-иқтисодий самарадорлигини ошириш ва уларнинг иш режимида мақбуллаштиришдан иборат. Мақолада ФЭБ ва ФИБ ларининг асосий иқтисодий кўрсаткичлар ҳисоблаб чиқилган ва техник-иқтисодий самарадорлиги баҳоланган. ФИБ дан фойдаланишда электр энергияси ишлаб чиқариш таннархини фотоэлектрик батареяларга нисбатан 20% га камайтириш эришилди.

В этой статье, для рационального использования фотоэлектрической батареи (ФЭБ) при снабжении потребителей электрической и тепловой энергией, представлены исследования, проведенные с использованием фототепловых батарей (ФТБ) и отражателей для повышения плотности потока солнечного излучения. В Физико-техническом институте была разработана экспериментальная установка для исследования электрофизических теплотехнических параметров ФТБ с использованием тепловых абсорберов и отражателей, увеличивающих плотность потока солнечного излучения. Целью исследования является испытание применения автономных фотоэлектрических станций в режиме ФТБ с целью надежного обеспечения сельского населения электроэнергией и горячей водой, повышения их технико-экономической эффективности и оптимизации режимов их работы. В статье рассчитаны основные экономические показатели ФЭБ и ФТБ и дана оценка их эффективности. При использовании ФТБ было достигнуто снижение затрат на выработку электроэнергии на 20% по сравнению с фотоэлектрическими батареями.

In the article, in accordance with environmental requirements, the use of renewable energy sources is relevant all over the world. In this article, for the rational use of a photovoltaic battery (PVB) when supplying consumers with electric and thermal energy, studies conducted using photothermal batteries (PTB) and reflectors to increase the density of the solar radiation flux are presented. An experimental in-

stallation was developed at the Institute of Physics and Technical to study the electro-physical thermal parameters of the PTB using thermal absorbers and reflectors that increase the density of the solar radiation flux. The purpose of the study is to test the use of autonomous photovoltaic plants in the PTB mode in order to reliably provide the rural population with electricity and hot water, increase their technical and economic efficiency and optimize their operating modes. The article calculates the main economic indicators of PVB and PTB and assesses their effectiveness. When using PTB, a 20% reduction in electricity generation costs was achieved compared to photovoltaic batteries.

Кириш. Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишдан асосий мақсад нефть ва газдан фойдаланишда зарарли чиқиндиларни камайтиришдан иборат. Углерод ёқилғиси ёрдамида электр энергияси ишлаб чиқарадиган электр станциялари зарарли иссиқхона газлари манбалари ҳисобланади. Шунинг учун электр энергиясини ишлаб чиқаришни қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш истикболли йўналишдир. Ҳозирги кунда қайта тикланувчи энергия манбаларининг фаол ривожланаётган йўналишларидан бири қуёш энергиясидир. Ишлаб чиқариш саноатининг жадал ривожланишига ФЭБ лар таннархининг пасайиши ва уларнинг самарадорлигининг ошиши ҳам ёрдам беради [1, 9, 10].

1-жадвал

Фотоиссиқлик батареясини тайёрлаш учун зарур материаллар

Фойдаланилган материаллар номи	Ўлчами	Сони
340 Вт ли фотоэлектрик батарея (ФЭБ)	1950x990 мм	1
Параллел каналли уяли поликарбонат	1950x980 мм	1
Диаметри 25 мм бўлган полимер қувур	1100x25 мм	2
Ички $\frac{3}{4}$ мм мис металл резбали адаптер	25 мм	2
Пробка	25 мм	2
Совук ва иссиқ сувни кириш чиқишини назорат қилиш учун жўмрак	$\frac{3}{4}$ мм	2
Фольгоизол	1950x990 мм	1
Пенопласт	1950x990 мм	1
Бир томони ёпишқоқ иккинчи томони нур қайтарувчи алюминий фольга	1950x495 мм	2
Икки томони алюминий қатлам билан қопланган композит материалдан тайёрланган алюкобонд (рефлектор учун)	1950x495 мм	2
Икки томони алюминий қатлам билан қопланган композит материалдан тайёрланган алюкобонд (орқа копқоқ учун)	1950x495 мм	1

Физика-техника институтида ФЭБ лардан фойдаланган ҳолда электр ва иссиқлик энергиясини ишлаб чиқариш қурилмаларининг техник кўрсаткичларини яхшилаш, уларни аҳоли эҳтиёжидида самарали қўллаш йўналишларини ўрганиш, ҳамда иқтисодий самарадорлик нуқтаи назаридан қўллашни асослаш

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

бўйича тадқиқотлар олиб борилмоқда. Фотоэлектрик батареяларини ишлаш самарадорлигини ошириш бўйича рефлекторли ФИБ ишлаб чиқилди. ФИБ ни ишлаб чиқиш учун 1-жадвалда келтирилган материаллардан фойдаланилди. Тажриба ишлари табиий шароитда очик қуёшли кунларда олиб борилди. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, фотоиссиқлик батарея (ФИБ) дан фойдаланиш ишлаб чиқарилган электр энергиясини фасллар ўзгаришига қараб 20-35% гача оралиқда оширишни таъминлайди. Тажриба синовлари ўртача номинал қуввати 340 Вт бўлган ФЭБ дан автоном фойдаланган ҳолда олиб борилди.

Курилманинг самарадорлик мезони фаолият давридаги соф дисконтланган даромад ҳисобланади. Кутилаётган иқтисодий самарани ФЭБ қувватини иссиқлик абсорбери ва қуёш нурланишини зичлаштириб берувчи рефлекторлар ёрдамида ошириш ва натижада ФЭБ ларнинг сонини камайтириш орқали эришиш мумкин. Бу капитал киритмалар миқдорини шунингдек, умумий харажатларни (деградация даражаси, таъмирлаш харажатлари, техник хизмат кўрсатиш ва бошқалар) камайтиради.

Капитал қўйилмалар қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$K_i = n \cdot K_{obi} + K_{monti} + K_{tpi}; \quad (1)$$

бу ерда, n – ФЭБ лар сони, дона; K_{obi} – битта ФЭБ нинг нархи, сўм; K_{monti} – ўрнатиш харажатлари, сўм; K_{tpi} – транспорт харажатлари, сўм.

Иссиқлик абсорберининг нархи ФЭБ орқа юзаси майдонига қараб белгиланади. Фотоиссиқлик батареясининг эксплуатациясида яроқлилик муддати тугагунга қадар ишлаб чиқиш учун умумий харажатлар аниқланади.

$$I_{пру} = I_{ам} + I_{тр.обс} + I_{пр}; \quad (2)$$

бу ерда, $I_{ам}$ - амортизация ажратмалари, сўм/йил; $I_{тр.обс}$ - курилмаларни жорий таъмирлаш ва техник хизмат кўрсатиш харажатлари, сўм/йил; $I_{пр}$ - бошқа харажатлар, сўм/йил [2, 9, 10].

Энергетика соҳасидаги электр ва иссиқлик энергиясини ишлаб чиқарувчи курилмаларни ўрганишда, маҳсулот таннархини қуйидаги формулалар билан аниқлаш мумкин:

Иссиқлик энергиясининг нархи, сўм/ГЖ:

$$\bar{s}_{т,з} = \frac{I_{т,з}}{Q_t}; \quad (3)$$

бу ерда $I_{т,з}$ – иссиқлик энергиясини ишлаб чиқариш учун йиллик харажатлар нархи, сўм; Q_t – йилига ишлаб чиқарилган иссиқлик миқдори, ГЖ/йил; Электр энергиясининг нархи, сўм/кВт·соат:

$$\bar{s}_{э,з} = \frac{I_{э,з}}{Э_t}; \quad (4)$$

бу ерда, $I_{э,з}$ – электр энергиясини ишлаб чиқариш учун йиллик харажатлар (нархи), сўм; $Э_t$ – йилига ишлаб чиқарилган электр энергияси миқдори, кВт·соат [3, 9].

Электр энергиясини истеъмол қилиш ҳажми ФИБ нинг энергия ишлаб чиқариш жадвалига мувофиқ белгиланади. Электр ва иссиқлик энергияси ишлаб чиқариш ФЭБ ларининг таянч конструкцияга максимал тушиш бурчагида ўрнатилганда қуёш нурланишининг максимал тушишига, курилма ўрнатиладиган минтақанинг географик жойлашувига боғлиқ. Ер юзасига кунлик тушадиган ўртача қуёш нурланиш оқим зичлиги қийматларини халқаро маълумотлар базаларидан аниқланди [4-6]. ФЭБ ва ФИБ ларни ишлаш

самарадорлиги таққослаш учун сарфланган умумий харажатлар 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

ФЭБ ва ФИБ лар нархлари

Материаллар	ФЭБ	ФИБ
Қувват, Вт	340	340
ФЭБ сони, дона	2	1
Курилма нархи, сўм	2 800 000	2 200 000
Шундан: Иссиқлик коллектори ва иссиқлик сақловчи материаллар, рефлекторларнинг нархи, сўм	-	800 000
Йиллик умумий харажатлар, сўм/йил	500 000	500 000
Шундан: Амортизация ажратмалари, сўм	250 000	250 000
Техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш харажатлари, сўм	150 000	150 000
Бошқа харажатлар, сўм	100 000	100 000
Ишлаб чиқарилган электр энергия нархи, сўм/кВт·соат/кун	2,8	1,7
Ишлаб чиқарилган иссиқлик энергия нархи, сўм/кВт·соат/кун	-	1,7
Жами ишлаб чиқарилган электр энергия, кВт·соат/300·295 сўм	250 000	301 000



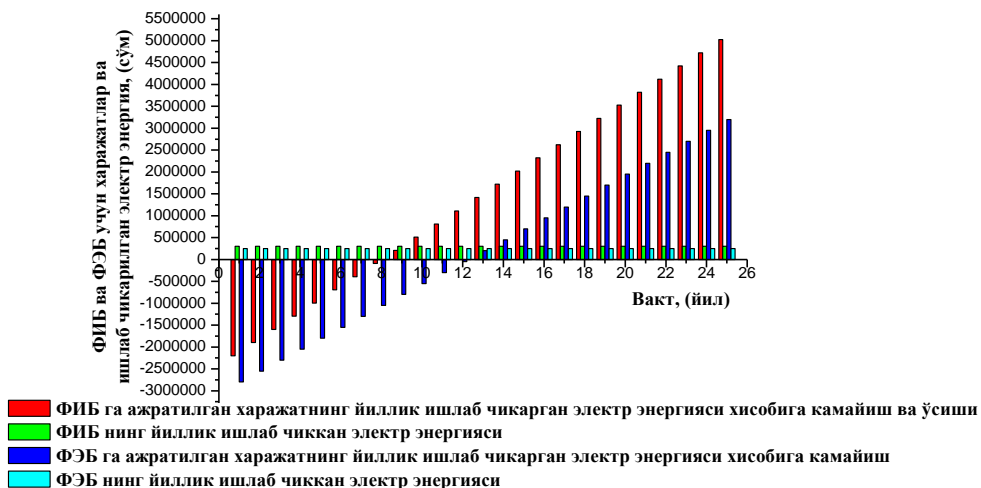
1-расм. Тажриба курилмасининг умумий кўриниши: 1-ФИБ, 2-ФЭБ

Физика-техника институтида ишлаб чиқилган, такомиллаштирилган ФИБ анъанавий ФЭБ билан таққослаш мақсадида тажриба синов натижалари олиб борилди. Олиб борилган тажриба синов натижаларида фойдаланилган курилмалар куйидаги 1-расмда келтирилган. Ҳисоб-китоблар шуни кўрсатдики, бир дона 340 Вт қувватдаги ФЭБ дан ФИБ тайёрлаш учун 800 000 сўм қўшимча харажат қилинди. Оддий тўлов усулига асосан ФИБ ва ФЭБ ларининг ўз-ўзини қоплаш муддати ва соф фойда кўрсаткичлари 2-расмда келтирилган [7,8].

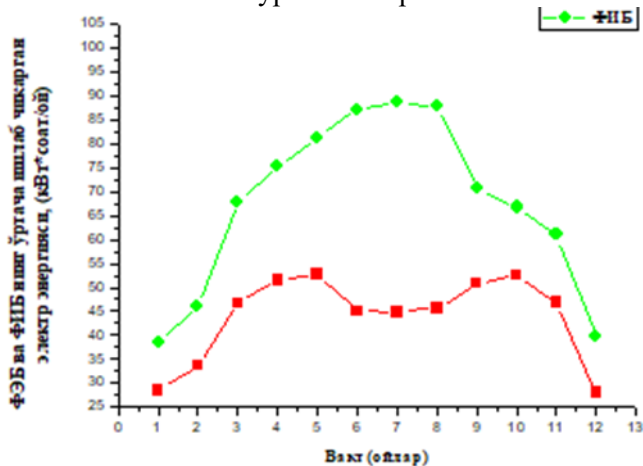
ФЭБ ларни самарадорлигини оширишда уларнинг нархи ва сонининг қисқаришини ҳисобга олган ҳолда, 680 Вт қувватдаги ФЭБ ларининг ўрнига бир дона такомиллаштирилган (иссиқлик абсорбери ва рефлекторлар билан

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

жиҳозланган) ФИБ нинг эксплуатациясидаги таннархи 21%га камлиги аниқланди.



2-расм. ФИБ ва ФЭБ ларининг ўз-ўзини қоплаш муддати ва соф фойда кўрсаткичлари



3-расм. ФЭБ ва ФИБ нинг йил давомида ишлаб чиқарган электр энергиясининг ойлар кесимига боғлиқ ҳолда ўзгариши

ФИБ нинг ишлаб чиқарган умумий электр энергияси ФЭБ ишлаб чиқарган умумий электр энергиясидан 20% юқори эканлиги аниқланди. ФИБ лар анъанавий ФЭБ ларга қараганда анча самарали эканлигини тажриба синов натижалари кўрсатди.

Хулоса. ФИБ лардан фойдаланишнинг техник-иқтисодий самарадорлиги баҳоланди. Бундан ташқари ФИБ ларини лойиҳалаш, ўрнатиш вақтида талаб қилинадиган майдон қисқаради. ФИБ дан олинган электр энергияга нефть, газ маҳсулотларидан олинган электр энергияга нисбатан арзон ва экологик жиҳатдан тоза маҳсулот ҳисобланади. Олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, такомиллаштирилган ФИБ нинг ўз-ўзини қоплаш муддати 8 йил, анъанавий ФЭБ ларда эса 12 йилни ташкил қилди. Такومиллашган ФИБ ларидан

фойдаланган ҳолда таннархни пасайтириш ва электр энергия ишлаб чиқариш самарадорлик даражаси 20% дан юкори кўрсаткичга эришиш мумкин. Марказлашган электр тармоқларидан узок худудларда истиқомат қилувчи қишлоқ аҳолиси эҳтиёжлари учун ФИБ асосидаги автоном қурилмаларни қўллаш самарали натижаларга олиб келади.

Адабиёт

1. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Ҳазратов С.С., Азимов С. Повышение энергоэффективности автономных фототепловых установок, / Проблемы и решения эффективного использования альтернативных источников энергии, Республика илмий-техникавий анжуман материаллари тўплами, Қарши, 2022, 134-135 бет.
2. M G Ozerova, A V Bastron, A S Debrin, N B Mikheeva and I N Ermakova. "The use of light filters in the photovoltaic solar power station to improve economic efficiency", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 421 (2020) 032016, p. 1-4, DOI:10.1088/1755-1315/421/3/032016.
3. Роголёв Н.Д., Зубкова А.Г., Мастерова И.В., Курдюкова Г.Н., Бологова В.В., Пономарёва О.Ю. Экономика энергетики: Учебное пособие для вузов. - М.:Издательство МЭИ, 288. -70 с.
4. Saeed Abdul-Ganiyu, David A Quansah, Emmanuel W Ramde, Razak Seidu and Muiyiwa S. Adaramola. "Investigation of Solar Photovoltaic-Thermal (PVT) and Solar Photovoltaic (PV) Performance: A Case Study in Ghana", *Energies* 2020, 13, 2701, p. 2-17, DOI:10.3390/en13112701.
5. Ahmad Tazay. "Techno-Economic Feasibility Analysis of a Hybrid Renewable Energy Supply Options for University Buildings in Saudi Arabia", *Open Eng.* 2021, 11, p. 39–55, DOI.org/10.1515/eng-2021-0005.
6. Юлдошев И.А. Оценка технико-экономических показателей комбинированных фотоэлектрических установок, // Иқтисодиёт ва инновацион технологиялар" илмий электрон журнали. -№ 2, март-апрель, 2016. -С. 1-6.
7. Юлдошев И.А., Сайткамолов М.С., Шогучкаров С.К., Муслимова М.М., Усканова З., Кузибоев А. Техничко-экономическая оценка солнечной когенерационной установки на основе фотоэлектрической тепловой батареи, //Энергия ва ресурс тежаш муаммолари, Махсус сон, 2021, - С. 330-336.
8. Хайдарова М.И. Ўзбекистонда энергетика соҳасидаги муаммолар ва уларни бартараф этиш йўллари, //Иқтисодиёт ва инновацион технологиялар илмий электрон журнали. 2021, № 1, январь-февраль, 192-200 бет.
9. Зайнутдинова Х.К. Об общих факторах, влияющих на маркетинг солнечной энергии в Узбекистане, // Экономика и финансы, 2012, -№ 4. -С. 9-14.
10. www.power-technology.com.
11. www.statista.com.

*ЎЗР ФА Физика-техника институти ва Тошкент давлат
техника университетлари томонидан тақдим этилган*

УДК 662.447÷536.24

**ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ МАЛОМОЩНОЙ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ, ПОДКЛЮЧЕННОЙ К
НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ****И.А. Юлдошев, С.К. Шогучкаров, Ш.Ш. Рустамова, Б.М. Ботиров,
Ф.Ш. Тураев**

Ишда Тошкент давлат техника университети (ТошДТУ) паст кучланишли электр тармогига уланган фотозлектр стантсиясидан (ФЭС) фойдаланишда экологик вазият тахлил қилинди. Чанг таркибли ифлосланишининг таъсирини ҳисобга олиб тармоқ фотозлектрик станциясининг параметрларини экспериментал тадқиқ этиши натижалари келтирилган. Кузда атроф-муҳит ҳароратининг юқори фарқи (кун ва тунда) туфайли ФЕБ юзаси йилнинг қолган қисмига қараганда кўпроқ ифлосланганлиги аниқланди. Кузда, ФЭС таркибида бўлган ФЕБ сирти тозалагандан сўнг, генератсияланган ток ва жорий қувватнинг нисбий ўзгариши ёз мавсумида олинган натижаларга нисбатан ~8,7% ва 12,4% га кўпроқ. Тадқиқот жараёнида ФЕБ ни тозалаш даври ~ 6 ҳафтани ташкил этди. Тажрибалар ўтказилган кунлар учун қуёш нурланишининг умумий оқим зичлиги ва атроф-муҳит ҳарорати кўрсаткичлари тўғрисидаги маълумотлар массивларини верификациялаш ҳам олиб борилди. Ўрнатилган қувватдан фойдаланиш коеффитсиентлари (ЎҚФК) Тошкент шаҳри шароити учун 10 кВт қувватга эга тармоқ ФЭС да 27% дан ошмаслиги аниқланди. Асосан бу ФЕБ нинг уфққа 46° қиялик бурчак остида қўзғалмас жойлашуви билан асосланади. ФЕБ поликристалли кремний қуёш элементларидан иборат бўлиб, уларнинг самарадорлиги ~16,4% ни ташкил қилади.

В работе проанализирована экологическая обстановка местности, где эксплуатируется фотоэлектрическая станция (ФЭС), подключенная к низковольтной электрической сети Ташкентского государственного технического университета (ТашГТУ). Представлены результаты экспериментального исследования параметров сетевой ФЭС с учетом влияния пылесодержащих загрязнений. Выявлено, что осенью, из-за высокой разницы температуры окружающей среды (днём и ночью), поверхность фотоэлектрических батарей (ФЭБ) загрязняется больше, чем в остальное время года. Осенью после очистки поверхности ФЭБ в составе ФЭС относительное изменение генерируемого тока и текущих мощностей больше на ~8,7% и 12,4%, по сравнению с результатами, полученными в летний период. В процессе исследования период очистки ФЭБ составляет ~6 недель. Проведены также верификации данных о показателях суммарной плотности потока солнечного излучения и температуры окружающей среды для дней, когда проводились эксперименты. Установлено, что коэффициенты использования установленной мощности (КИУМ) сетевой ФЭС мощностью 10 кВт для условий г. Ташкента не превышают 27%. В основном, это обосновывается стационарным расположением фотоэлектрических батарей под углом 46 ° к горизонту. ФЭБ состоит из поликристаллических кремниевых солнечных элементов, эффективность которых ~ 16,4 %.

The paper analyzes the environmental situation where the photovoltaic power plant (PVPP), connected to the low-voltage electric network of the Tashkent State Technical University (TSTU), is operated. The results of the experimental study of the parameters of the network FES, taking into account the influence of dust-containing pollutants are presented.

It has been revealed that in autumn, due to the high difference in ambient temperature, the FEB surface is polluted more than in the rest of the year. In the fall, after cleaning the FEB surface, the relative change in the generated current and current powers is greater by ~8,7% and 12,4% compared to the results obtained in the summer period. In the process of the study, the interval of the FEB cleaning period is ~6 weeks. Verification of the data on the total solar flux density and ambient temperature for the days when the experiments were carried out, in order to verify the identity of the data arrays, was also carried out.

It was found that the Installed capacity utilization factor (ICUF) of 10 kW grid FES for the conditions of Tashkent does not exceed 27%. Basically, it is justified by the stationary location of photovoltaic batteries at an angle of 46° to the horizon. PVB consists of polycrystalline silicon solar cells, the efficiency of which is equal to 16,4%.

Введение. В современном мире в результате истощения полезных ископаемых и ухудшения экосистемы до опасного уровня, одной из главных проблем является переход на чистые и возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В настоящее время существует несколько видов ВИЭ, широко используемых для производства электрической энергии. Это энергия солнца, ветра, энергия водных потоков и растительной биомассы, геотермальное тепло, низкопотенциальное тепло окружающей среды, энергия приливов и отливов океана и морей и др. [1-3].

В Узбекистане среди перечисленных выше ВИЭ - солнечная энергия имеет высокий энергетический потенциал по сравнению с другими экологическими источниками. Применение солнечной энергии возможно путем применения широкого спектра технологий: фотоэлектрических батарей (солнечных элементов), концентраторов различных типов, комбинированных станций [4,5].

В настоящее время в республике разворачиваются широкомасштабные работы по внедрению фотоэлектрических систем для передачи энергии в электрическую сеть. Все фотоэлектрические станции можно условно разделить на два типа – с аккумулирующей системой и без неё. Причем необязательно система с накопителем является полностью автономной – она может служить источником аварийного питания потребителя в схеме параллельной работы с централизованной сетью [6].

Сетевые фотоэлектрические станции имеют определенные преимущества по сравнению с автономными системами. Локальную электрическую сеть в этом случае можно представить как бесконечный источник аккумуляции с надежным резервом, который будет принимать излишки электроэнергии, и наоборот, отдавать электроэнергию для питания собственных потребителей при её недостатке. Основным преимуществом сетевых ФЭС являются высокая эффективность, простота, низкая стоимость и высокая надежность. Однако, при эксплуатации

ФЭС в условиях Узбекистана, встречаются объективные проблемы, связанные с экологией и климатом.

Узбекистан оказался на 12 месте в списке самых загрязненных стран по среднегодовой концентраций частиц PM 2,5 (42,8 мкг/м³). По нормам Всемирной организации здравоохранения среднегодовой уровень PM 2,5 должен составлять не больше 10 мкг/м³. Отчет о качестве воздуха за 2021 год представила организация IQAir [7,8].

В 2022 году Узбекистан выбросил в атмосферу 909 тысяч тонн загрязняющих веществ [9]. Согласно замерам Узгидромета, за последние 10 лет для Ташкента характерно фоновое загрязнение пылью, превышающее среднесуточные ПДК в 1,3–2,7 раза, диоксид азота — в 1,3–2 раза. Превышение ПДК в течение года на 10,4–42,7% фиксируется в жаркий засушливый безветренный летне-осенний период [10].

Высокие показатели загрязняющих веществ (твердые частицы и газообразные выбросы) в атмосфере вызывают у людей разные легочные заболевания. Кроме того, загрязняющие вещества в виде твердых частиц могут оседать на поверхности фотоэлектрических батарей в ФЭС. Толщина грязи с течением времени растет, из-за уменьшения коэффициента пропускания покровного стекла эффективность ФЭБ снижается [11,12]. В мае 2021 г. пыльные и песчаные бури наблюдались в Бухарской, Навоийской областях и некоторых районах Кашкадарьи, Самарканда и Хорезма. В сентябре 2021 г. пыльная буря накрыла Ташкентскую, Сырдарьинскую, частично Джизакскую и Ферганскую области [13].

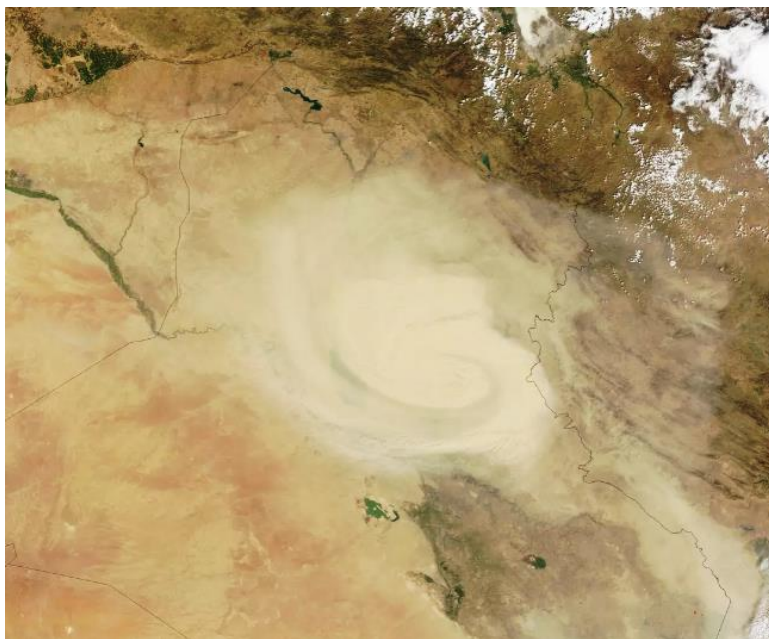


Рис.1. Фото из космоса: пыльная буря в Узбекистане (08.11.2021 г.)

Целью данной работы является исследование влияние запыленности на эксплуатационные параметры ФЭС мощностью 10 кВт, подключенной к низко-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

вольтной электрической сети [14-17].

Метод. Для проведения исследовательской работы была разработана методика, позволяющая измерять электрофизические и теплотехнические параметры маломощной сетевой ФЭС в естественных условиях, и анализировать их параметры, в зависимости от внешних факторов. Проведена также верификация данных о показателях суммарной плотности потока солнечного излучения и температуры окружающей среды. Применена методика расчета коэффициента использования установленной мощности ФЭС, который вычислялся в течение года.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Эксперименты по исследованию параметров сетевой ФЭС проводились на Гелиополигоне электроэнергетического факультета ТашГТУ 21-22 июля, 04-05 сентября 14-16 октября 2022 г. в дневное время суток. Нами были исследованы электрические и тепловые режимы ФЭС, состоящей из 2-х электрически соединенных между собой параллельных групп ФЭБ, каждая из которых содержит 20 батарей, соединенных последовательно. ФЭБ размещены под углом 46° в южном направлении.

ФЭС снабжена системой передачи данных, которая осуществляется через порт RS485 в сетевом инверторе. Записывались текущая и пиковая мощности, значения текущего и общего накопления электроэнергии, показания величин тока и напряжения на каждом контроллере (MPPT1 и MPPT2), напряжения и тока на выходе сетевого инвертора, коэффициент производительности, частота, активная и реактивная мощности и др.

Измерялись также следующие метеопараметры (рис.1,2): температура окружающей среды, скорость ветра, относительная влажность воздуха, суммарная плотность потока солнечного излучения. Во время измерения температура окружающей среды составляла $26 \div 43^{\circ}\text{C}$, влажность $12 \div 33,8\%$, а скорость ветра изменялась в пределах от 0,1 до 2,0 м/с.

Сравнение результатов данных о суммарной плотности потока солнечного излучения и температуры окружающей среды (рис.1,2) проводилось согласно экспериментальным измерениям 21 и 22 июля 2022 г., полученным для условий г. Ташкента. Результаты верификации показывают, что измеренные данные суммарной плотности потока солнечного излучения и температуры окружающей среды, полученные 21 и 22 июля 2022 г. не отличаются, а среднее значение суммарной плотности потока солнечного излучения на наклонную поверхность, составляла $4,14 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^2\cdot\text{день}$ и $4,11 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^2\cdot\text{день}$. Значение плотности потока солнечного излучения измерялись под углом 46° , ФЭБ размещены с тем же углом наклона. Результаты расчета внесены в табл.1.

Таблица 1

Метеопараметр	Систематическая погрешность, RMS	Среднеквадратичное отклонение, RMSD	Коэффициент корреляции массивов данных
Плотность потока СИ ($\text{Вт}/\text{м}^2$)	0,0065 $\text{Вт}/\text{м}^2$	9,81	0,9945
Температура окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$)	0,0059 $^{\circ}\text{C}$	0,37	0,9936

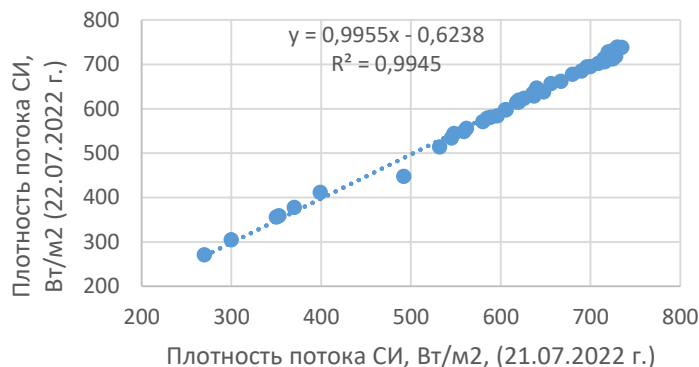


Рис.1. Результаты верификации данных суммарной плотности потока солнечного излучения (21.07-22.07.2022 г.)

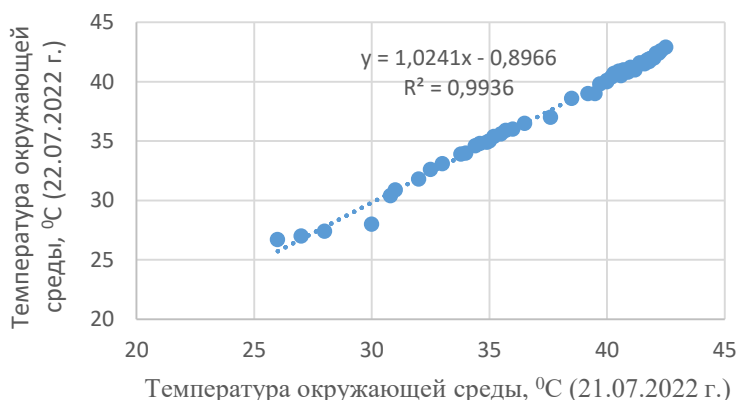


Рис.2. Результаты верификации данных температуры окружающей среды (21.07 – 22.07.2022 г.)

Как было сказано выше, на работу солнечных энергетических установок и станций влияет различного рода загрязнения поверхности ФЭБ. Городская среда служит источником разного вида загрязнителей: отходов промышленных предприятий, выбросов тепловых электростанций и котельных, выделений транспорта, мусора жилых домов и др. Последние кратковременные дожди в Ташкенте наблюдались 20.06.2022 г, которые продолжались в среднем около 1,5 часов в сутки, т.е. до начала проведения эксперимента прошел 31 день без осадков.

Надо подчеркнуть, что среди метеорологических параметров дождь естественным образом способствует эффективному очищению поверхности покровного стекла ФЭБ, а относительная влажность и ветер влияют на ускорении теплообмена между поверхностью модуля и воздушной средой.

На рис.3,4 представлены графики значений генерируемого тока и текущих номинальных мощностей ФЭС, записанных системой мониторинга для указанных дней. Каждый раз очистка поверхности ФЭБ осуществляется механическим

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

способом с помощью минимойки Karcher (аппаратом высокого давления). В этом случае сэкономлены значительные объемы воды - до 80%, время очистки составляло ~7 мин. Расход воды в этом промежутке времени составляет ~50 л. Давление в бытовой мини-мойке Karcher составляет от 20 до 160 бар. При очистке поверхности ФЭБ использовалась вода при давлении 120 бар.

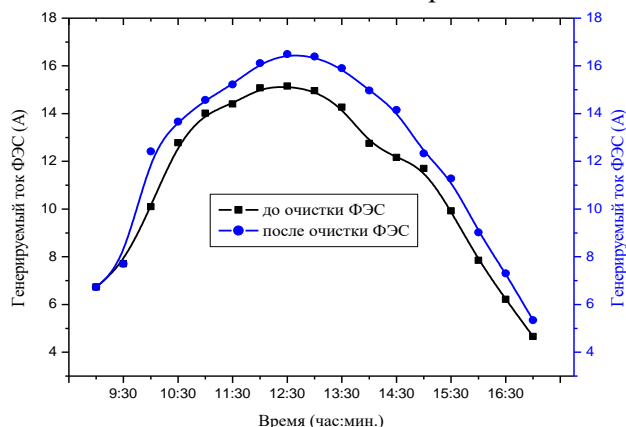


Рис.3. Зависимости генерируемых токов ФЭС от дневного времени при эксплуатации (21.07 – 22.07.2022 г.)

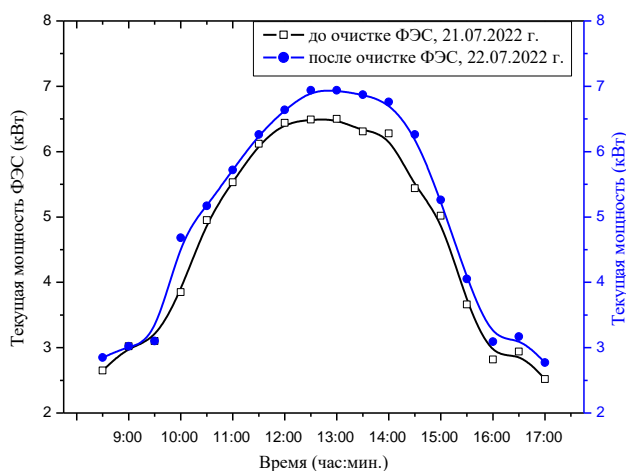


Рис.4. Зависимости текущих мощностей ФЭС от дневного времени при эксплуатации (21.07 – 22.07.2022 г.)

Так как характеристики фотоэлектрических батарей отличаются степенью загрязнения и очистки рабочей поверхности, то является целесообразным сравнение этих параметров по относительному изменению максимальной мощности $\Delta\gamma$ и $\Delta\delta$:

$$\Delta\delta = 1 - \frac{I_2}{I_1}, \quad (1)$$

$$\Delta\gamma = 1 - \frac{P_2}{P_1}; \quad (2)$$

где P_1 , I_1 – максимальная мощность и ток «грязной» ФЭБ в составе ФЭС, P_2 , I_2 – максимальная мощность и ток ФЭБ в составе ФЭС после очистки.

Из рис.3,4 видно, что после очистки ФЭБ в составе ФЭС, относительное изменение генерируемого тока и текущих мощностей увеличились на ~9,1% и 6,7 %. Кроме того, 21 и 22 июля 2022 г. выработка электроэнергии ФЭС составила 42 кВт·час и 45 кВт·час, соответственно.

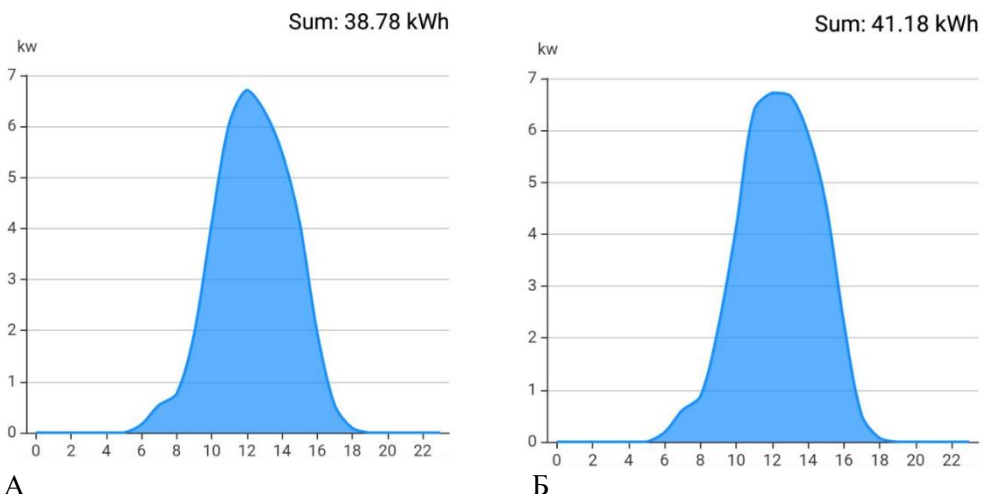
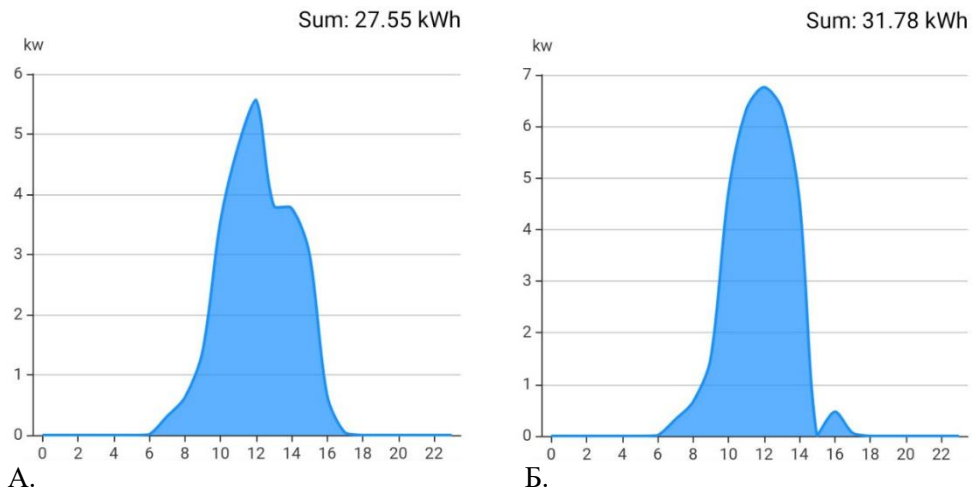


Рис.5. Зависимости текущих мощностей ФЭС от дневного времени при эксплуатации: А – до очистки ФЭБ (04.09.2022 г.); Б. – после очистки ФЭБ (05.09.2022 г.)

Осенью экспериментальные работы по исследованию влияния запыленности на параметры ФЭС были продолжены с учетом итогов летнего периода. На рис.5 приведены показатели текущих мощностей ФЭС при эксплуатации. В период с 04.09 по 05.09.2022 г., среднедневное значение суммарной плотности потока солнечного излучения на наклонную поверхность составляли 3,97 кВт·час/м²·день и 3,91 кВт·час/м²·день, а максимальное значение температуры окружающей среды 36 °С и 35,7 °С . соответственно. Проанализировав рис. 5, можно сделать вывод о том, что после очистки ФЭБ относительное изменение значение генерируемого тока и текущих мощностей увеличилось на ~8,6% и 5,8%. В тех дни выработка электроэнергии ФЭС составляла 38,78 кВт·час и 41,18 кВт·час, соответственно.

Также проведены эксперименты с учетом влияния запыленности на параметры ФЭС в осенний период. И из-за высокой разницы температуры окружающей среды (днем и ночью) пыль начинает оседать на поверхности ФЭБ интенсивнее, чем в остальные сезоны года. Представлены зависимости текущих мощностей ФЭС от дневного времени при эксплуатации (рис. 6), для осенних дней.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ



А.
Б.
Рис.6.1. Зависимости текущих мощностей ФЭС от дневного времени при эксплуатации: А – до очистки ФЭБ (14.10.2022); Б. – после очистки ФЭБ (15.10.2022)

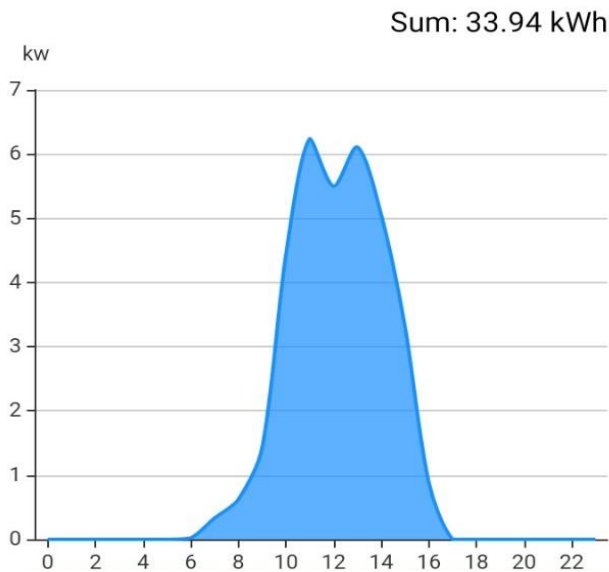


Рис.6.2. Зависимость текущей мощности ФЭС от дневного времени при эксплуатации (16.10.2022 г.)

Из рис.6.1 и 6.2 видно, что после очистки ФЭБ (по расчетам формул 1 и 2) относительные изменения генерируемого тока и текущих мощностей увеличилось на ~17,76% и 19,1% для 14.10-16.10. 2022 г. 15 октября 2022 г. в 15:00-16:00 часов из-за исчезновения напряжения в низковольтной электрической сети, ФЭС временно прекращал генерацию электроэнергии, что связано с необходимостью обеспечить безопасность при аварийных случаях в сети. Сравнение эксплуата-

ционных параметров ФЭС до и после очистки ФЭБ целесообразно для 14.10 – 16.10. 2022 г.

Среднедневные значения суммарной плотности потока солнечного излучения на наклонную поверхность для 14.10-16.10.2022 г. составляли 3,24 кВт·час/м²·день и 3,27 кВт·час/м²·день, а максимальное значение температуры окружающей среды 24,5 °С и 25,4 °С, соответственно.

Запуск сетевой фотоэлектрической станции мощностью 10 кВт в эксплуатацию состоялся 23 октября 2019 г. С начала января 2021 г. до середины марта 2022 г. ФЭС не работала из-за необходимости устранения неполадок в сетевом инверторе (вышел из строя сетевой трехфазный инвертор из-за сильного отклонения напряжений от нормированного в локальной электрической сети). Таким образом, для определения экспериментального значения коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) и выработки электроэнергии были использованы результаты 2020 г.

КИУМ показывает, как отношение фактическое выработки электроэнергии к теоретической, по выражению [18]:

$$\text{КИУМ} = \frac{W_{\text{факт.}}}{P_{\text{уст.}} \cdot T}; \quad (3)$$

где $W_{\text{факт.}}$ – объем энергии, произведенный ФЭС, за отчетный период времени, кВт·ч; $P_{\text{уст.}}$ – установленная мощность ФЭС, кВт; T – период времени, ч.

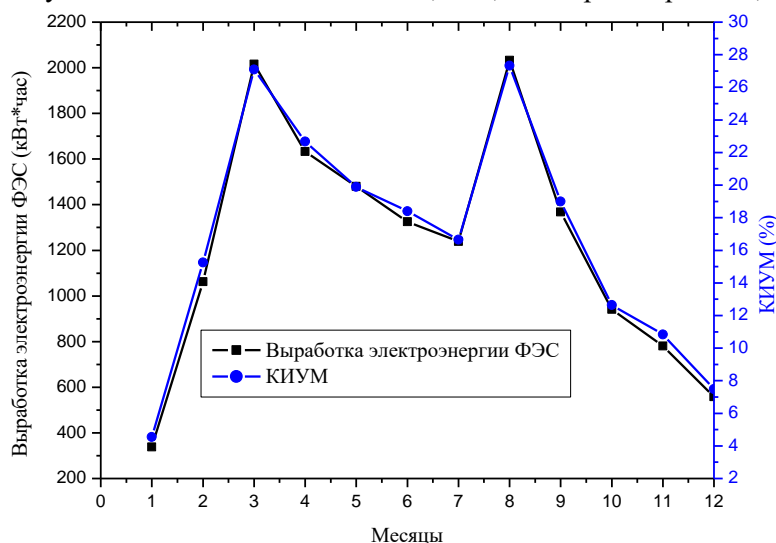


Рис. 7. Зависимости показателей выработки электроэнергии ФЭС и КИУМ от месяцев года (2020 г.)

На рис. 7 приведены зависимости показателей выработки электроэнергии ФЭС мощностью 10 кВт и КИУМ от месяцев года. Из графиков видно, что значения КИУМ и выработки электроэнергии ФЭС изменяются пропорционально. Годовая выработка электроэнергии и КИУМ ФЭС составляют 14,772 МВт·ч и 16,8% для 2020 г., соответственно. Наибольшее и наименьшее значения КИУМ выявлены в марте ~27% и в январе ~4,54%.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Заключение. Запыленность атмосферы местности снижает ее прозрачность, а длину волн видимой части спектра солнечного излучения увеличивают облачность, количество туманов, что уменьшает продолжительность солнечного сияния в течение года. Наиболее важными энергетическими параметрами, которые могут характеризовать загрязненность модулей являются генерируемый ток и мощность ФЭБ.

В работе исследованы эксплуатационные параметры сетевых ФЭС с учетом загрязненности атмосферы местности. По полученным результатам авторы, сделали вывод о том, что загрязненность на поверхности ФЭБ негативно влияет на оптические свойства, конструкцию и токовые характеристики ФЭБ. В основном, этим объясняются зависимость токовых характеристик ФЭБ от оптических свойств прозрачного стекла. Степень загрязненности поверхности ФЭБ (независимо от типа и конструкции) зависит от времени года (количество осадков, большая разница перепада температур окружающей среды) и месторасположения приемной площадки. Значения КИУМ ФЭС в условиях г. Ташкента колеблются в пределах от 4,5 до 27%.

Литература

1. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. – Т.:Фан ва технология, 2009. - 464 с.
2. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике//Рос.хим.ж. (Ж.Рос. хим.об-ва им. Д.И. Менделеева), 2008, т.ЛII, №6. 95-106 с..
3. Gremenok V.F., Tivanov M. S., Zalesski V.B Solar cells based semiconductor materials// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology – 2009 – Vol.69. №1. – P. 59-124.
4. Аллаев К.Р Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. -Т.: «Fan va texnologiyalar nashriyotmatbaa uyi», 2021.- 952 с.
5. Обзор сектора возобновляемой энергетики (ВИЭ) республики Узбекистан (<http://matveev-igor.ru/articles/409836.31.10.2018>).
6. Бобыль А.В., Кисилева С.В., Кочаков В.Д. и др. Техничко-экономические аспекты сетевой солнечной энергетики в России //Журнал технической физики, 2014, том 84, вып.4. –С.85-92.
7. <https://www.iqair.com/ru/world-most-polluted-countries> (дата обращения от 20.09.2022 г.).
8. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.
9. Mike H. Bergin, Chinmay Ghoroi, Deepa Dixit, James J. Schauer and Drew T. Shindell// Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution// *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2017, 4, 8, 339–344.
10. <https://www.gazeta.uz/ru/2019/08/12/air-pollution> (дата обращения от 21.09.2022 г.).

11. <https://kabar.kg/news/pyl-naia-buria-v-uzbekistane-snimok-iz-kosmosa> (дата обращения от 24.09.2022 г.).
12. Дыскин В.Г., Собиров Х., Комолов И.М., Абдуллаев Э.Т. Очистка загрязнения поверхности фотоэлектрической батареи струей воздуха. //Гелиотехника, 3, 17 – 22, (2017).
13. Юлдошев И.А, Шогучкаров С.К, Каримова М.О, Курбанов Ю.М, Ботиров Б.М. Расчет изменения относительного к.п.д с учетом загрязнения прозрачных лучепоглощающих частей фотоэлектрической батареи №DGU12511 от 20.08.2021.АИИ Республики Узбекистан.
14. www.chint.net (дата обращения: 12.09.2022).
15. Турсунов М.Н., Юлдошев И.А., Шогучкаров С.К Фотоэлектрические станции, интегрированные в низковольтную электрическую сеть в условиях сельских регионов /«Использование возобновляемых источников энергии: новые исследования, технологии и инновационные подходы» материалы конференции НПО «Физика-Солнце» АН РУЗ имени С.А.Азимова, 2018 г., 25-26 сентября. –С.43-46.
16. I.A. Yuldoshev, S. Shoguchkarov, T. Jamolov, Sh. Rustamova. Features of operation of the grid connected photovoltaic power station with a capacity of 10 kW. E3S Web of Conferences 216, 01172 (2020) RSES 2020.
17. Юлдошев И.А., Шогучкаров С.К., Жамолов Т.Р., Рустамова Ш.Ш. Особенности проектирования сетевой фотоэлектрической станции мощностью 10 кВт International scientific and scientific-technical conference: Problems and Prospects of innovative technique and technology in Agri-food Chain, Tashkent, TSTU, 2020 pp. 692-694.
18. Белобородов С.С., Гапо Е.Г., Ненашев А.В. Возобновляемые источники энергии и водород энергосистеме: проблемы и преимущества монография. - Санкт-Петербург: Научно-технологические технологии. 2021. -151 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.472

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ЭЛЕМЕНТАХ ГЕЛИОУСТАНОВОК

К.А. Тохтахунов, Д.М. Пулатова, Н.Р. Умирова, Ф.Д. Кушшаева

Ушбу мақолада қуёш қурилмаларининг иссиқлик баланси кўриб чиқилган, уларнинг иссиқлик йўқотишларининг қийматлари ҳисоблаб чиқилган, иссиқлик узатиш жараёнининг мезонлари, формулалари ва қонунлари батафсил тавсифланган. Параллел плиталар ёки коакциял цилиндрлар орасидаги иссиқлик узатиш формулалари берилган. Шунингдек, ушбу мақола энергия тежайдиган индивидуал жамоавий иситиш ва иссиқ сув тизимларини ўрнатиш масалаларига бағишланган бўлиб, иссиқлик коллекторларидан фойдаланишининг ҳозирги ҳолати ва истиқболлари, уларнинг дизайни ва энергия самарадорлигини баҳолаш кўриб чиқилган.

В данной статье рассматриваются тепловой баланс гелиоустановок, вычисляются величины их термических потерь, подробно описываются критерии, формулы и законы теплообменного процесса. Приводятся формулы теплообмена между параллельными пластинами или коаксиальными цилиндрами. Также данная статья посвящена вопросам устройства энергоэффективных индивидуальных коллективных систем отопления и горячего водоснабжения, рассмотрены современное состояние и перспективы применения тепловых коллекторов, их конструкции и дана оценка энергетической эффективности.

This article discusses the thermal balance of solar installations, calculates the values of their thermal losses, describes in detail the criteria, formulas and laws of the heat exchange process. Formulas of heat exchange between parallel plates or coaxial cylinders are given. Also, this article is devoted to the issues of the device of energy-efficient individual collective heating and hot water supply systems, the current state and prospects for the use of thermal collectors, their design and evaluation of energy efficiency are considered.

Введение. Особенности солнечного коллектора как теплообменного аппарата:

1. Низкие плотности тепловых потоков.
2. Работа в переменных и переходных режимах.
3. Получение энергии среднего термического потенциала.
4. Первостепенная роль теплообмена излучением.

Особенности излучения. Флюиды – это жидкости или газы. Текучая среда. От наружной поверхности абсорбера теплота посредством теплопроводности (*cond*) уже передаётся ко внутренней поверхности трубы, а от неё – посредством конвективной теплоотдачи (*conv*) к жидкости.

Излучение распространяется через окружающую среду – воздух (*a*) – с низкой температурой, которая контактирует с солнечным коллектором: это становится причиной тепловых потерь *QL*.

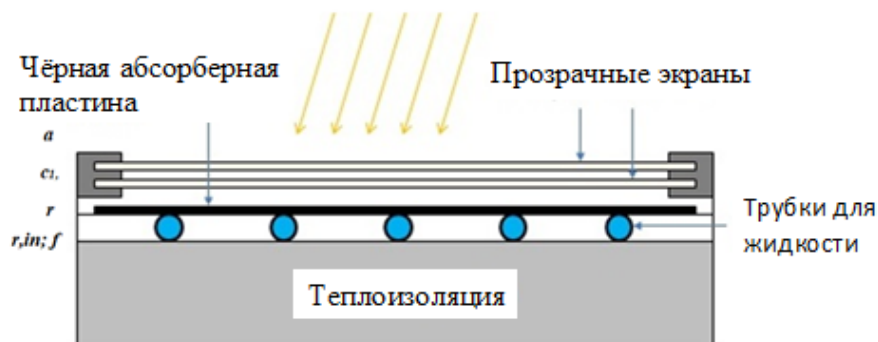


Рис.1. Вид поперечного разреза солнечного водонагревательного коллектора. а – атмосфера; с – покрытия (covers); r – абсорбер (receiver); f – теплоноситель (fluid)

В солнечном водонагревательном коллекторе теплообмен происходит не между двумя флюидами, а между фотосферой Солнца и теплоприёмником (r) посредством излучения (rad).

Рассмотрим тепловые потери гелиоустановки. Коэффициент потерь гелиоустановки Q_L – это эквивалентная термическая проводимость ($1/R_t$) при теплообмене между теплоприёмником и окружающей средой (R_t – полное термическое сопротивление):

$$Q_L = U_L \cdot (T_r - T_a) \cdot A_r; \quad (1)$$

где, U_L – удельные потери, А – площадь, в скобках – разница температур абсорбера и окружающей среды.

Удельные потери – это сумма потерь за счет конвекции, излучения и теплоотдачи. При этом потери от теплоотдачи в поверхность, на которой лежит гелиоустановка, считаются незначительными и не рассматриваются [1,2,6].

Для уменьшения тепловых потерь используются различные технологии:

- добавление покрытий (с);
- использование методов подавления конвекции в полости между покрытием и теплоприемником (путём добавления перегородок, ячеек, вакуумированием);
- применение селективных покрытий.

Рассмотрим уравнения теплового баланса:

$$Q_{us} = Q_t^{abs} - Q_L; \quad (2 а)$$

$$Q_{us} = G \cdot c_p \cdot (T_f^{out} - T_f^{in}); \quad (2 б)$$

$$Q_{us} = A_c \cdot (E_t^{abs} - U_L \cdot (T_r - T_a)). \quad (2 в)$$

Все три уравнения теплового баланса выражают одну и ту же величину, только по-разному. Q_{us} – полезная теплота, получаемая установкой.

В первой формуле полезная теплота выражена как теплота, полученная абсорбером минус потери. Во второй формуле Q_{us} выражена через теплоту, которую получает теплоноситель, проходя через установку, G – расход теплоносителя, кг/с, C_p – теплоемкость, в скобках – разница температур на входе и на выходе из коллектора. Третья формула – это более подробное раскрытие первой

формулы. Полезное тепло выражено через произведение площади на поступающий удельный поток энергии, потери – через произведение площади установки, коэффициента удельных потерь и разности температур установки и окружающей среды. Площадь вынесена за скобки.

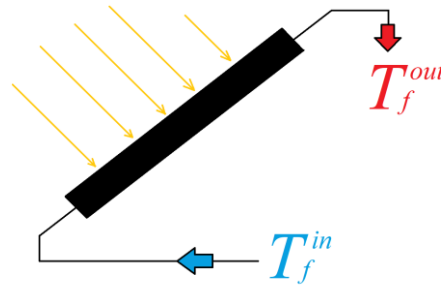


Рис.2. Процесс теплообмена в гелиоустановке

Основой инженерных методов расчета конвективного теплообмена служит экспериментальное исследование этих процессов. При этом для расчета температурных полей и тепловых потоков применяют методы аналогий, теорию планирования эксперимента и методы теории подобия. При расчете и проектировании теплообменных устройств, как правило, требуется рассчитать тепловой поток при конвективной теплоотдаче от флюида к стенке или, наоборот, от стенки к флюиду по формуле Ньютона:

$$Q = \alpha \Delta T F \text{ или } q = \alpha \Delta T; \quad (3)$$

где, $\Delta T = |T_w - T_f|$ – модуль разности температур между стенкой и флюидом, °С (К); T_w – температура поверхности теплообмена (стенки), °С (К); T_f – температура текучей среды (флюида) вдали от стенки, °С (К); Q – тепловой поток, Вт; q – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м²; F – площадь поверхности теплообмена (площадь поверхности стенки), м²; α – средний коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К) [3,4,7].

При заданных геометрических размерах системы теплообмена, температурах стенки и текучей среды задача расчета теплового потока сводится к определению коэффициента теплоотдачи α . Заметим, что коэффициент теплоотдачи α не имеет физического смысла и выступает в роли коэффициента пропорциональности в законе теплоотдачи Ньютона. Коэффициент теплоотдачи находят, используя закон Ньютона, определив экспериментально тепловой поток при теплоотдаче и разность температур между стенкой и флюидом:

$$\alpha = Q / \Delta T \cdot F. \quad (4)$$

Для получения универсальной зависимости коэффициента теплоотдачи при конвективном теплообмене в сложных системах необходимо, в принципе, выполнить бесконечное множество экспериментов, поскольку коэффициент теплоотдачи зависит от многих параметров, таких как время, координаты, скорость, температура, физические свойства среды и т.д.:

$$\alpha = f(\tau, xi, w, T, v, \lambda, \rho). \quad (5)$$

Для уменьшения числа независимых переменных была разработана теория подобия процессов кондуктивного, конвективного и радиационного теплообме-

на, а также процессов массообмена. Теория подобия оперирует с безразмерными комплексами – критериями или числами подобия, которые получают на основе дифференциальных уравнений переноса энергии, импульса и массы. Критерий подобия – безразмерный комплекс, который характеризует отношение физических эффектов. Другими словами, критерий представляет собой меру отношения физических эффектов. Согласно теории подобия, экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи выполняют на физических моделях, в которых реализован процесс той же физической природы, что и в объекте моделирования (образце). Поэтому теория подобия дает правила моделирования и позволяет распространить результаты ограниченного числа экспериментов на группу подобных явлений.

Теория подобия базируется на трех положениях теоремы Кирпичева – Гухмана:

1. Подобные процессы должны иметь одинаковую физическую природу.
2. В модели и объекте моделирования (образце) должно выполняться подобие краевых условий. Для процессов конвективного теплообмена это геометрическое подобие, кинематическое подобие (подобие скоростей), динамическое подобие (подобие сил), тепловое подобие (подобие температурных полей и тепловых потоков).

3. В модели и объекте моделирования (образце) определяющие критерии должны быть равны. В этом случае равны и определяемые критерии.

Все критерии подобия подразделяют на две основные группы: определяемые и определяющие. Определяемые критерии находят из эксперимента, результаты которого зависят от определяющих критериев. Существует и группа независимых критериев или параметров, к которым следует отнести безразмерные координаты и безразмерное время. Однако в обратных задачах конвективного теплообмена безразмерное время может быть определяемым критерием. Определяемые критерии подобия также называют числами подобия.

Для расчета теплового потока по закону теплоотдачи Ньютона необходимо по эксперименту найти коэффициент теплоотдачи, поэтому к определяемым критериям подобия относят безразмерный коэффициент теплоотдачи – критерий Нуссельта (Nu). Критерий Нуссельта характеризует отношение форм математического описания теплового потока, которым обмениваются флюид и стенка:

$$Nu = \frac{h \cdot L_{def}}{k} . \quad (6)$$

Физический смысл критерия Рейнольдса – критерия динамического подобия – состоит в том, что он характеризует отношение силы инерции к силе трения. По величине критерия Рейнольдса судят о режиме течения флюида при вынужденной конвекции:

$$Re = \frac{w \cdot L_{def}}{\nu} = \frac{\rho \cdot w \cdot L_{def}}{\mu} . \quad (7)$$

Критерий Прандтля представляет собой отношение двух характеристик молекулярного переноса импульса (ν) и теплоты (α) и является физическим параметром среды, значение которого приводят в справочниках в зависимости от температуры. По величине критерия Прандтля (Pr) все текучие среды можно разделить на три группы: Pr << 1 – жидкие металлы; Pr ≈ 1 – газы; Pr > 1 – текучие среды (вода, минеральные масла и органические жидкости):

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_p}{k} \quad (8)$$

При решении задач теплообмена при свободной конвекции скорость течения флюида определить довольно сложно, поэтому ее исключают из критериев подобия и учитывают косвенно, рассчитывая гравитационную силу, возникающую из-за переменного поля плотности в неоднородном поле температур. В этом случае в расчетах конвективного теплообмена используют критерий Грасгофа (Gr), критерий Рэлея и другие.

Физический смысл критерия Грасгофа состоит в том, что он характеризует отношение термогравитационной подъемной силы к силе вязкого трения:

$$Gr = \frac{g \cdot L_{def}^3 \cdot \beta \cdot \Delta T_{def}}{\nu^2} \quad (9)$$

По величине критерия Грасгофа судят о режиме течения флюида в задачах теплообмена при свободной конвекции для заданной текучей среды. Для обобщения экспериментальных данных о режиме течения флюидов разной физической природы в расчетах свободной конвекции используют критерий Рэлея:

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (10)$$

Числа подобия – безразмерные комплексы, составленные из размерных физических параметров, определяющих рассматриваемое физическое явление. В данном случае – процессы конвективного теплообмена.

Nu – отношение интенсивности теплообмена конвекцией к интенсивности теплообмена за счет теплопроводности.

Re – отношение инерционных сил к силам трения в жидкостях и газах.

Pr – влияние физических свойств теплоносителя на теплоотдачу.

Gr – соотношение гравитационных и вязкостных сил при естественной конвекции

Ra – определяет поведение жидкости от градиента температуры.

Величины в формулах:

h – коэффициент теплоотдачи, часто – искомая величина;

L_{def} – характерный размер;

k – к-т теплопроводности среды;

w – характерная скорость потока;

ρ – плотность среды;

ν – кинематическая вязкость среды;

μ – динамическая вязкость среды;

c_p – теплоемкость среды;

α – коэффициент температуропроводности;

g – ускорение свободного падения;

β – температурный коэффициент объемного расширения, определяется по указанной на слайде формуле при давлениях, близких к атмосферному;

ΔT_{def} – характерная разница температур, как правило – разница между температурой поверхности и средней температурой теплоносителя.

Рассмотрим решение примера. Свободная конвекция между параллельными пластинами, наклонёнными под углом $0...75^\circ$:

$$Nu = 1 + A \cdot B^+ + C^+;$$

$$A = 1.44 \cdot \left(1 - \frac{1708 \cdot \sin^{1.6}(1.8 \cdot S)}{Ra \cdot \cos(S)}\right); \quad B = 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(S)};$$

$$C = \left(\frac{Ra \cdot \cos(S)}{5830}\right)^{1/3} - 1;$$

если $B < 0$, то $B := 0$; если $C < 0$, то $C := 0$.

Число Нуссельта при расчетах конвекции между пластинами определяем по эмпирической формуле, затем можем выразить через него коэффициент теплоотдачи. Характерная разность температур в данном случае – разность между температурами поверхностей пластин. S – угол наклона установки.

Обдувание наклонной пластины ветром при $20 \cdot 10^3 < Re < 90 \cdot 10^3$:

$$Nu = 0.86 \cdot \sqrt{Re} \cdot \sqrt[3]{Pr};$$

$L_{def} = 4 \cdot \frac{A_c}{\Pi}$ – определяющий размер,

$T_{def} = T_a$ – определяющая температура.

Теперь переходим от конвекции к теплообмену излучением. В общем случае интенсивность излучения описывается уже известным законом Стефана-Больцмана.

Интегральная (по всему спектру частот) излучательная способность для АЧТ (абсолютно черного тела) описывается законом Стефана-Больцмана:

$$E_{bb} = \sigma \cdot T^4. \quad (11)$$

Для реального тела – его версией с поправкой на коэффициент излучения (степень черноты) ϵ поверхности:

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4; \quad (12)$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$$

Частные случаи и понятие о коэффициенте радиационной теплоотдачи. Излучение «маленького» тела (1) в «большой» объём (2):

$$Q_{1-2}^{rad} = A_1 \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4); \quad (13)$$

$$h_{1-2}^{rad} = \frac{q_{1-2}^{rad}}{T_1 - T_2} = \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2); \quad (14)$$

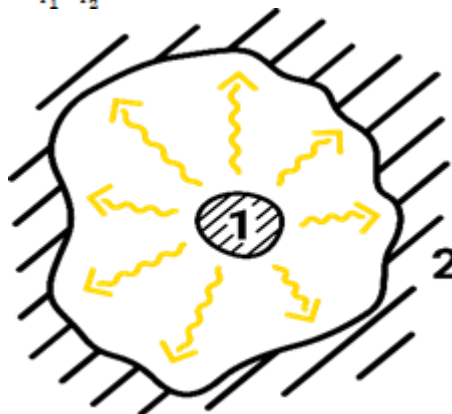


Рис.3. Излучение «маленького» тела (1) в «большой» объём (2)

Это может быть, например, излучение установки в окружающую среду:

$$h_{c-a}^{rad} = \frac{q_{c-a}^{rad}}{T_c - T_a} = \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^2 + T_a^2) \cdot (T_c + T_a); \quad (15)$$

$$Q_{c-a}^{rad} = A_c \cdot \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_s^4); \quad (16)$$

$$h_{c-a}^{rad} = \frac{q_{c-a}^{rad}}{T_c - T_a} = \frac{A_c \cdot \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_s^4)}{T_c - T_a}; \quad (17)$$

где T_s - температура небосвода (sky), К;

$$T_s = k_s \cdot T_a$$

$$k_s = \sqrt[4]{0.711 + 0.056 \cdot t_{dp} + 0.000073 \cdot t_{dp}^2 + 0.013 \cdot \cos(15\tau)}; \quad (18)$$

где, τ – час, отсчитываемый от полуночи, ч; $t_{dp} = f(t_a, \phi)$ – точка росы (dew point), °С.

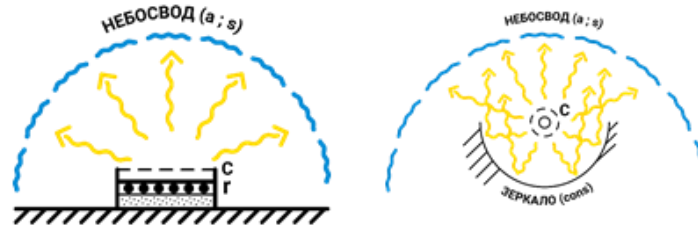


Рис.4. Излучение установки в окружающую среду

На деле при вычислении коэффициента радиационного теплообмена используется не просто температура окружающей среды, а температура небосвода T_s , которая зависит от температуры воздуха, времени суток, облачности и т.д.

С температурой воздуха эта величина связана коэффициентом k_s , который определяется по эмпирической формуле.

Теплообмен между параллельными пластинами или коаксиальными цилиндрами (формулы Христиансена—Нуссельта):

$$Q_{1-2}^{rad} = \frac{\sigma \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}; \quad (19)$$

$$h_{1-2}^{rad} = \frac{q_{1-2}^{rad}}{T_1 - T_2} = \frac{\sigma \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}. \quad (20)$$

Для параллельных пластин площади одинаковые, для коаксиальных цилиндров – разные.

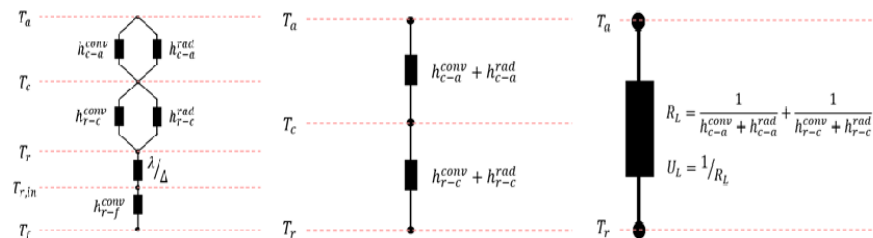


Рис.5. Схемы термических сопротивлений

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Схема упрощается до двух последовательных соединений; схема сопротивлений еще сильнее упрощается, есть возможность вычислить общее термическое сопротивление. Из него определяются удельные потери [5,6].

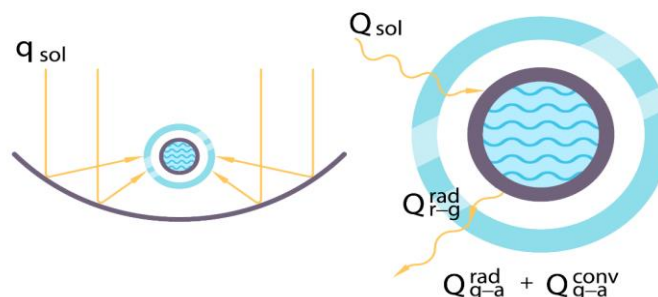


Рис.6. Схематическое изображение теплоприемника в фокусе концентрирующего зеркала и теплоприемника в поперечном разрезе

Здесь показана аналогия между термическим сопротивлением и электрическим. Если один и тот же слой создает и конвективное и радиационное сопротивление, то эффективное термическое сопротивление определяется по тому же принципу, что и для параллельных проводников.

Если поток тепла последовательно проходит через несколько слоев, то их сопротивление суммируется – так же, как и в случае с последовательным соединением проводников.

Литература

1. Аvezов Р.Р., Барский-Зорин М.А., Васильева И.М. и др. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. -М.: Стройиздат, 1990. – С. 328.
2. Александров В.Д., Лукьянов А.В., Постников В.А., Остапенко В.В., Грицук И. В., Прилепский Ю.В. /Сборник научных трудов. ДонИСТ, 2011, №27, - С.126-132.
3. Алексеев В.А, Малоземов В.В. Проектирование тепловых аккумуляторов. Учебное пособие. - Москва: МАИ, 2008. – С. 86.
4. Дружинин В.П. и др. Математическая модель процесса разрядки теплового аккумулятора фазового перехода. //Технико-технологические проблемы сервиса, 2009, №4(10). - С. 17-22.
5. Гудков В.И., Чакалев К.Н. Аккумуляция тепловой энергии для солнечных электростанций. //Гелиотехника. 1982. №5. – С. 27-31.
6. Zaxidov N., Shoyusupov Sh., Pulatova D., Gofurov D. Photoelectric recorder for measuring deformations of buildings and hydraulic facilities E3S Web of Conferences 2021. 264, 03066.
7. Abduraxmonov A., Sobirov Yu. Maxmudov S., Pulatova D. Production of hydrogen by using solar energy IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 937 (2021) 042042.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК: 636:631.3:621.3

МОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАКТОР НА ОСНОВЕ ВИЭ

А.А. Бокиев, А.Р. Саринсакходжаев, А.Н. Ботиров

Мақолада қишлоқ хўжалигининг энергия мавжудлиги таҳлил қилинади. Ривожланган мамлакатлар тажрибасини ўрганиш асосида қишлоқ хўжалиги техникасини электр юритувчига ўтказиш бўйича таклифлар ишлаб чиқилди, қайта ишлаш корхоналари ва ҳосилни йиғиштириш учун мобил электромеханик ускуналар, шу жумладан қайта тикланувчи энергия манбаларига асосланган мобил зарядловчи қурилмаларни ишлаб чиқиш ва ишлаб чиқариш бўйича тавсиялар берилди.

В статье сделан анализ энерговооруженности сельского хозяйства. На основе изучения опыта развитых стран разработаны предложения по переводу сельскохозяйственной техники на электрический привод, даны рекомендации по разработке и выпуску мобильной электромеханической техники для обработки растений и сбора урожая, в том числе мобильных зарядных устройств на основе ВИЭ.

The article analyzes energy availability of agriculture. Based on the study of the experience of developed countries, proposals were made for the transfer of agricultural machinery to electricity, recommendations were made for the development of mobile electromechanical equipment for processing plants and harvesting, including charging devices in agricultural conditions based on mobile renewable energy sources.

Существенным препятствием эффективного развития аграрного сектора в настоящее время являются вопросы достаточного электроснабжения и энерговооруженности хозяйств. В связи с этим, на местах из-за отсутствия или отдаленности от систем электроснабжения пустуют плодородные земли. В животноводстве остро ощущается нехватка водных ресурсов на отдаленных пастбищах.

Во многих хозяйствах отдаленных регионов, при обработке богарных земель сельскохозяйственная техника простаивает из-за нехватки горюче-смазочных материалов. В результате посевные работы и обработка растений проводятся с опозданием или даже вручную.

Вместе с тем в мире уже эксплуатируются более двух миллионов электро-мобилей, имеется соответствующая сеть электрозаправок. В развитых странах бурно развивается сеть новых электрозаправочных станций, уже эксплуатируются их мобильные варианты, ведутся работы по разработке мобильных электростанций на основе ВИЭ. Сельскохозяйственная техника постепенно, начиная с малых тракторов, переводится на электрическую тягу. А в перспективе ожидается перевод и более мощных тракторов.

Известно также, что сельскохозяйственные потребители электрической энергии имеют специфические режимы работы, зависящие в основном от агротехнических требований и сезонности. Поэтому вводим так называемый коэффициент одновременности K , который определяет зависимость расчетных значений нагрузок нескольких потребителей от их максимальных нагрузок.

Известно, что с увеличением парка транспортных средств с электрическим приводом, инфраструктура по их зарядке должна развиваться не менее динамично. Проводимые исследования известных мировых производителей аккумуляторных батарей и зарядных устройств показывает, что в сочетании с постоянным улучшением работы аккумуляторных батарей, в ближайшем будущем наступит переломный момент в массовом открытии EV-станций. Как и в случае с другими подобными инновационными технологиями, переход на электрические транспортные средства будет постепенно нарастать, пока не приобретёт «лавинообразный характер». Специалисты Nissan считают, что вскоре количество электрических зарядных станций превысит количество обычных заправок.

Прогноз Nissan основан на снижении количества автозаправочных станций. Еще в 1970 году в Соединенном Королевстве было 37 539 АЗС, а в конце прошлого года их было всего 8 472.

По оценкам исследовательской компании Pike Research мировой рынок оборудования для зарядки электромобилей вырос к 2015 году до \$1,9 млрд./г.

С учетом вышеприведенного нами проведён анализ мирового опыта для использования в нашей республике. Уточнена последовательность необходимых изыскательских исследований.

Пияли Гандули, Ахтар Калам и Аладин Заег в своем исследовании: “Солнечно-ветровая гибридная возобновляемая энергетическая система: современное состояние исследований в области конфигураций, методов управления и калибровки” отмечают, что возобновляемая энергетическая система, состоящая из солнечной и ветровой энергии, является экологически чистым и экономически жизнеспособным вариантом для сельского питания по сравнению с традиционными источниками. Недостатком этих систем является то, что они менее надёжны, так как вырабатываемая мощность зависит от метеорологических условий. Правильно спроектированная гибридная возобновляемая энергетическая система, объединяющая два или более возобновляемых источника энергии, таких как ветровая турбина и Солнечная система, с резервным аккумулятором, повышает надёжность этих систем в автономном режиме [4].

В исследованиях Шерязова С.К. на тему: “Методология рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей” поставлена цель - разработать методику рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с целью снижения себестоимости энергопотребления. В качестве объекта исследования была выбрана комбинированная система энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с использованием солнечных и ветровых электростанций [5].

М.А. Ташимбетов изучил вопросы комплексного использования возобновляемых источников энергии в Республике Казахстан. На примере Джамбульской области Южного Казахстана проведено обоснование выбора комбинированного энергетического комплекса на основе возобновляемых источников

энергии мощностью 100 кВт для обеспечения электроэнергией сельского поселения. Определена средняя выработка электроэнергии системой электроснабжения и разработан годовой график нагрузки потребителей [6].

Ахмед Торки и Ахмед Джайланп в своих исследованиях изучали вопросы обеспечения электроэнергией автономных сельских потребителей за счет использования возобновляемых источников энергии с целью развития автономных комбинированных систем электроснабжения фермерских хозяйств Египта [8].

В период между 1975 и 2012 годами стоимость покупки техники и ее ремонта увеличились в США вдвое. Растущие затраты на оборудование, техническое обслуживание и ограниченное повышение эффективности использования топлива привели к почти непрерывному росту издержек производства для фермеров за последние 25 лет. Аналогичная ситуация наблюдается и в нашей стране. Возможным выходом из нее может стать электрификация. Тракторы на электрической тяге будут отличаться улучшенной топливной экономичностью, увеличенной долговечностью и меньшими затратами на ремонт.

На основе изучения опыта развитых стран нами проводится исследование, основной целью которого является разработка мобильной электростанции и многофункционального электрического трактора на основе ВИЭ (рис.1)



А) - Транспортное положение.

Б) - Рабочее положение.

Рис.1. Мобильная электростанция и многофункциональный электрический трактор на основе ВИЭ

Для внедрения капельного орошения в отдаленных от линий электропередачи территориях требуется мобильный способ электроснабжения. Разработанный опытный образец мобильной электростанции «Солнце-ветер» предназначен для этих целей.

Проведённые анализы показывают, что, для возделывания в расчете на одну тонну яблок, при капельном орошении с нижним порогом влажности почвы 70, 80 и 90 % НВ, расход оросительной воды изменяется в среднем от 127,1 до 197,2 т. При бороздковом поливе в среднем он составил 227,8...305,8 т в зависимости от года исследований и сорта яблонь.

Мобильная электростанция в дневное время может вырабатывать в среднем 4,5-4,7 кВт·час, в вечерние часы 0,8-1,0 кВт·час электрической энергии. Годовая выработка электрической энергии составляет более 20000 кВт·час электрической энергии. Если перевести в денежное выражение, то стоимость годовой выработки может составить 8 млн 700 тысяч сум.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Стоимость станции составляет 110550000 (*Сто десять млн. пятьсот пятьдесят тыс*) сум. С учетом суммы вырабатываемой годовой мощности окупаемость может составить около 11 лет. Но, во первых - на основании постановления Президента при внедрении ресурсосберегающих, экологически чистых, эффективных инновационных технологий, 30% от стоимости компенсируется государством. Во вторых - одна такая мобильная станция создает возможности возвращать более 100 га вышедших из оборота плодородных земельных ресурсов. Если учесть, что с каждого га можно получать в денежном выражении на более 5-7 млн. сум продукции, то окупаемость станции не превышает 4 лет.

Известно, что большинство мобильных технических средств, используемых в настоящее время в сельском хозяйстве, работает на органическом топливе, в результате чего энергоэффективность проводимых агротехнических мероприятий имеет низкий уровень. В связи с этим использование тракторов с электрическим приводом в сельском хозяйстве имеет большое значение для снижения затрат на горюче-смазочные материалы для обычной автотранспортной техники.

Многофункциональный электрический трактор предназначен для выполнения следующих агротехнических мероприятий:

- осенняя и весенняя подкормка (*опрыскивания суспензии*) зерновых, садов и овощей;
- агротехнические мероприятия по защиты растений;
- в качестве транспортных платформ в теплицах.

На рис.2 представлены транспортное и рабочее положения многофункционального электрического трактора на основе ВИЭ.



Рис.2. Многофункциональный электрический трактор на основе ВИЭ



Рис-3. Мобильная «Солнечно-ветровая» электростанция в работе:
1- мобильная «Солнечно-ветровая» электростанция; 2 – артезианский колодец;
3 – солнечные панели; 4 – щит управления системой

В дальнейшем предусмотрена разработка беспилотного варианта БАА-1Э, которая дает возможность увеличить на 70 кг полезный груз; например, вместо 100 л жидкости можно заправлять до 200 л, при выполнении агротехнических мероприятий по подкормке и защите растений. Это, в свою очередь, увеличивает производительность агрегата, одновременно улучшая условия труда.

При правильной организации мероприятий по внедрению современной техники и технологий предлагаемая многофункциональный электрический трактор и мобильная «Солнечно-ветровая» электростанция востребована в эксплуатации и может иметь применение во всех регионах Республики Узбекистан. Указанные выше проблемы характерны и для соседних республик, поэтому можно организовать экспорт данной продукции, рис.3. В дальнейшем предусмотрена разработка беспилотного варианта БАА-1Э, которая дает возможность увеличить на 70 кг полезный груз; например, вместо 100 л жидкости можно заправлять до 200 л, при выполнении агротехнических мероприятий по подкормке и защите растений. Это, в свою очередь, увеличивает производительность агрегата, одновременно улучшая условия труда.

При правильной организации мероприятий по внедрению современной техники и технологий предлагаемая многофункциональный электрический трактор и мобильная «Солнечно-ветровая» электростанция востребована в эксплуатации и может иметь применение во всех регионах Республики Узбекистан. Указанные выше проблемы характерны и для соседних республик, поэтому можно организовать экспорт данной продукции, рис.3.

Для успешного выполнения проекта необходимо выполнить следующие задачи:

- разработка исходных требований и конструкторской документации многофункционального электрического трактора и мобильной «Солнечно-ветряной» электростанций;
- Изготовление опытных образцов многофункционального электрического трактора и мобильной «Солнечно-ветряной» электростанции;
- Проведения широких хозяйственных испытаний.

Литература

1. Джеффри Болл, The New Age of Renewable Energy, The Cairo Review of Global Affairs, 13 февраля 2018.
2. Бхушан Д. Агаркар и Шивпракаш Б. Барве Обзор гибридной солнечной/ветровой/ гидроэнергетической системы. //Международный журнал современной техники и технологий. Е-НОМЕР 2277 – 4106, П-НОМЕР 2347 – 5161. © 2016 INPRESSCO ®, Индия. Специальный выпуск-4 (Март 2016 года). -С. 188-191.
3. Сухов А.А., Стушкина Н.А. Модернизация систем электроснабжения сельских потребителей путём внедрения распределённой генерации. //Вестник Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А.Тимирязева, Электрификация и автоматизация сельского хозяйства, 2018. - № 5. -С. 69-73.
4. Ахмад Батайне. Оптимальная конструкция гибридной системы выработки электроэнергии для обеспечения надежного электроснабжения Медицинского центра в Умм-Джамале, Мафрак, Иордания. 10 июня 2014 года. DOI:10.5539/ээр. URL-адрес v4n3p9: <http://dx.doi.org/10.5539/ээр.v4n3p9>.
5. Чижма С.Н., Молчанов С.В., Захаров А.И. Критерии выбора типа ветроустановок для мобильных ветро-солнечных электростанций. //Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.:Физико-математические и технические науки. 2018. № 1. -С. 53—62.
6. Куликов А.Л., Осокин В.Л., Папков Б.В. Проблемы и особенности распределённой электроэнергетики. //Вестник НГИЭИ. 2018. № 11 (90).
7. Рискиев П.Т., Муминов Р.А., Турсунов М.Н., Собиров Х., Абдуллаев Э.Т., Автономная мобильная фотоэлектрическая система обеспечения энергией объектов, удалённых от источников энергии, /Материалы республиканской научно-практической конференции “Нанотехнология ва қайта тикланадиган энергия манбалари: муаммолар ва ечимлар”, Қарши. 27-28 апрель 2012. -С. 106-109.
8. Региональная программа Tacis 2006. Оказание поддержки в реализации Киотского протокола. Сопоставительный анализ энергобалансов и секториальных показателей энергоэффективности стран СНГ и ЕС.
9. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. - Санкт-Петербург, 2003. - 81 с.
10. Галиуллина Е.Ю. Дтсс. к.т.н. «Капельное орошение яблоневого сада в условиях сухостепной зоны Волгоградской области».
11. <https://east-fruit.com/article/>.
12. <https://soviet-ingenera.com/eco-energy/eko-dom/gidroelektrostanciya-svoimi-rukami.html>.
13. https://elektrovesti.net/energetika/500_mini-i-mikro-ges.
14. luutp@uzsci.net (WWW. fti.fan.uz) – НИИ «Физики-Солнца».

*Представлено Институтом проблем энергетики
и НИУ “ТИИИМСХ”, Ташкент*

UDK 378.147

TA'LIM JARAYONIGA O'QUV SIMULYATORLARINI TADBIQ ETISHNING AHAMIYATI VA ZARURATI**I.U. Raxmonov, A.K. Bijanov**

Maqolada ta'lim jarayoniga o'quv simulyatorlarini tadbiiq etishning ahamiyati va zarurati oliy ta'lim muassasasi talabalari o'rtasida o'tkazilgan tajriba-eksperiment so'rovnoma natijalari asosida asoslangan. 15 ta savoldan iborat so'rovnoma oliy ta'lim muassasalrida, xususan texnik oliy ta'lim muassasalarida o'quv simulyatorlarini qo'llashning joriy holati, muammolar va istiqbollarini aniqlashga yo'naltirilgan masalalarni qamrab oladi. O'tkazilgan so'rovnomada oliy ta'lim muassasalarining turli bosqichlarida taxsil oluvchi 727 nafar talaba ishtirok etgan bo'lib, maqolada ular tomonidan berilgan javoblar tahlil qilinib, o'quv simulyatorlarini qo'llab o'quv jarayonida qo'llash bo'yicha tavsiyalar beriladi.

В статье обосновываются важность и необходимость применения учебных тренажеров в учебном процессе по результатам экспериментального опроса, проведенного среди студентов высших учебных заведения. Анкета включает 15 пунктов и охватывает вопросы, направленные на определение современного состояния, проблем и перспектив использования тренажеров в вузах, особенно технических. В опросе приняли участие 727 студентов, оразных курсов высших учебных заведений. В статье анализируются результаты анкетирования и даются рекомендации по использованию учебных тренажеров в учебном процессе.

In the article, the importance and necessity of using training simulators in the educational process is substantiated based on the results of an experimental survey conducted among students of a higher educational institution. The questionnaire consists of 15 questions and covers questions aimed at determining the current state, problems and prospects for the use of simulators in universities, especially technical universities. The survey involved 727 students enrolled in various courses of higher educational institutions, the article analyzes the answers of students and gives recommendations on the use of training simulators in the educational process.

Kirish. Har qanday izlanishlar fan sifatida o'zining ilmiy-tadqiqot metodlariga ega hisoblanadi. Shu metodlar orqali ilmiy ish o'z mazmunini tobora boyitib, yangi natijalarni o'zida mujassam etadi. Talabalar faoliyatiga bog'liq bo'lgan muammolarni o'rganishda, nimani o'rganish va qanday o'rganish kerak degan masalalar ko'ndalang turgan bo'lib, ular bir-biri o'z-aro bog'liqdir va bunday muammolar o'rtasida dialektik birlik mavjud hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 5 oktyabrdagi «Raqamli O'zbekiston — 2030» strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risidagi PF-6079-son farmonida mamlakatimizda raqamli iqtisodiyotni faol rivojlantirish, barcha tarmoqlar va sohalarda, eng avvalo, davlat boshqaruvi,

ta'lim, sog'liqni saqlash va qishloq xo'jaligida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini keng joriy etish bo'yicha kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmogda. Mamlakatimizda 587 ming nafar kishini, shu jumladan «Bir million dasturchi» loyihasi doirasida 500 ming nafar yoshlarni qamrab olish orqali kompyuter dasturlash asoslariga o'qitish tashkillashtiriladi [1].

Raqamli texnologiyalar asosida ishlab chiqilgan o'quv resurslarining bir nechta afzalliklari mavjud: oddiy darsliklarga nisbatan tezda kerakli ma'lumotlarni izlab topish, vaqtni tejash, multimediya texnologiyalarni qo'llash imkoniyati, mustaqil ravishda amaliy ishlarni bajarish va zarur mavzular bo'yicha bilim darajasini tekshirish imkoniyati mavjud [2-3].

Kommunikativ bilim va ko'nikmalar majmui shaxsning kommunikativ kompetentsiyasini tashkil qiladi va quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- kasbiy aloqa qoidalar va me'yorlardan xabardor bo'lish;
- nutq rivojlanishining yuqori darajasi;
- ijtimoiylashish qobiliyati;
- muloqot maqsadiga erishish qobiliyati;
- suhbatdoshga ta'sir o'tkazish qobiliyati;
- o'zining shaxsiy ijobiy idrokini yaratish qobiliyati.

Zamonaviy bitiruvchi yuqori malakali mutaxassis, maxsus sohalar bilan birlashtirish strategik masalalarni aniqlay oladigan, tashkil eta oladigan kompetentsiya jamoatchilik bilan o'zaro tushunish va o'zaro munosabat, muayyan ijtimoiy guruh, shaxslar, ya'ni chuqur bilan kommunikativ faoliyat madaniyati [5].

Laboratoriya ishlarini bajarish uchun odatda metodik qo'llanmalardan foydalanilib ishning maqsadi, kerakli asboblari, nazariy qism va bajarilish tartibi to'liq yozilib, o'rganilib chiqiladi [6]. Ushbu vazifalarni bajarish uchun nafaqat qo'llanmadan balkim o'quv simulyatorlaridan ham foydalanish mumkin. Ular turli xil elektrik jihozlarning turli xil funktsional cheklavlarini ifodalaydigan kattaliklarni o'zgartirish mumkin. Dasturni ishga tushirish va keyinchalik kattalikni yana o'zgartirish mumkin, bu dasturchiga qisqa vaqt ichida bir nechta tizimni sinab ko'rish imkonini beradi va simulyatsion o'rganishning keng imkoniyatlarini oshib beradi [7].

Pedagogika o'z mazmunini ma'nan boyitish va tubdan yangilash maqsadida mavjud pedagogik jarayon va hodisalarning maqsadi va vazifalariga to'g'ri keladigan metodlari bilan o'rganadi. Pedagogik ilmiy-tadqiqot to'g'ri tanlansa, metodlari qanchalik mukammal bo'lsa, ta'lim va tarbiya mazmunini yangilash va takomillashtirish shu darajada yaxshilanadi. Yuqorida aytilganlardan kelib chiqib, "Texnikaviy oliy ta'lim muassasalarida simulyatsion yondashuv asosida talabalarning kasbiy kompetentligini takomillashtirish (elektr ta'minoti asoslari fani misolida)" mavzusidagi tadqiqot ishi doirasida talabalarning istak va hoqishlarining o'rganilganlik darajasini bilish, o'lchash imkoniyatlarini beruvchi nazorat shakllaridan biri bo'lgan, ishonchli va to'g'ri ma'lumotlarni olish va uni tahlil qilishni ta'minlash uchun quyidagi pedagogik ilmiy tadqiqot metodlari tanlandi:

1. Savolnomalar metodi;
2. Eksperiment-tajriba sinov metodi;
3. Statistika ma'lumotlarini tahlil qilish metodi.

Tadqiqotning dastlabki tashkillashtirish jarayonida savolnomalarni aniq belgilab olish va tayyorlashda talabalarning qiziqishi, ularning talabalik faoliyatida uchrashadigan muammolar aniqlandi. Ushbu muammolarga talabalar qanday reaksiya

qilishi katta ahamiyatga ega bo'lib va savolnoma paytida ortiqcha qiyinchiliklarga duch kelmaslik maqsadida muammolar test shakliga keltirildi.

Savolnoma boshida qatnashuvchilar haqida ma'lumot to'plash maqsadida to'rt anketa savollari berildi, ular quyidagicha:

- jinsingiz;
- yoshingiz;
- yashash joyingiz;
- nechinchi kursta o'qiyasiz.

Savolnomaga qatnashayotgan talabalarning zerikib qolmasligi va testlarni belgilashda qiziqishini so'ndirmaslik maqsadida asosiy ilmiy mazmunga binoan 14 ta test savollari tuzilib, javoblarni belgilash talabalar ixtiyoriga berildi.

Talabalarning tadqiqot ishida ishtirok etishi va javoblari konfidentsiallik (maxfiylik) tamoyillari asosida tahlil qilinishi savolnoma boshida ta'kidlandi.

Mazkur pedagogik eksperiment-tajriba ishlari ta'lim va tarbiya jarayoniga bog'liq ilmiy faraz yoki amaliy ishlarning tadbiqu jarayonlarini tekshirish, aniqlash maqsadida yurtimizdagi bir nechta oliy ta'lim muassasalarida o'tkazildi. Bunda raqamli texnologiyalarni qo'llashning ilmiy farazlarning nazariy va amaliy ahamiyatiga e'tibor beriladi. O'tkaziladigan tajriba ishlari raqamli texnologiyalarni qo'llashning zamirida ta'lim va tarbiya jarayoni o'rtasidagi qonuniy aloqalarni aniqlash, natijalarni hisobga olish asosida yangi metodlarni tadbiqu etishga, ta'lim samaraligini oshirishga qaratiladi. Shuningdek, ta'lim jarayoniga o'quv simulyatorlarini joriy etishning usullari va natijalarini oldindan ko'ra bilish imkoniyatini beradi.

Talabalarning raqamli texnologiyalarga bo'lgan qiziqishi va tasavvur darajasini aniqlovchi pedagogik eksperiment-tajriba ishlarini o'tkazishga quyidagi talablar belgilab olindi:

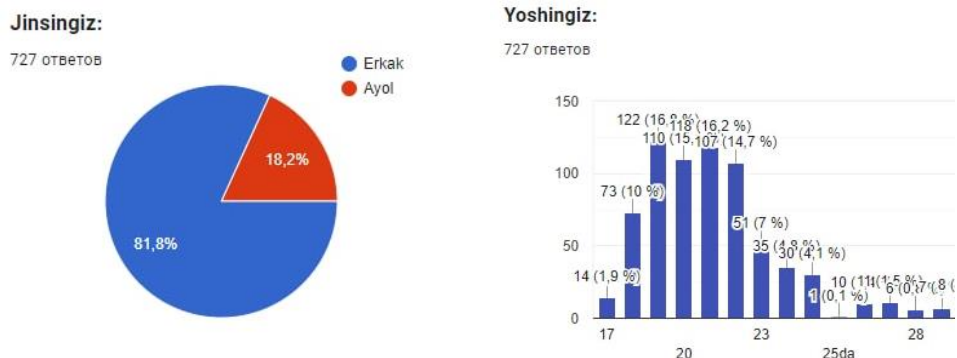
- Ishning aniq va ilmiy jihatdan asoslangan nazariyasini aniqlash va kutilayotgan natija uchun aniq rejani belgilash;
- Pedagogik eksperiment-tajriba faoliyat uchun aniq ob'ekt belgilash va faoliyatni amalga oshirish uchun qo'shimcha metod va usullarni aniqlash;
- Tajriba ishi o'tkazish vaqtini va muddatini belgilash;
- Tajriba uchun lozim bo'lgan vosita va boshqa dasturiy ilovalarning tayyor turishi;
- Eksperiment-tajriba natijalarini qisqa vaqt ichida tahlil qilish va tegishli xulosa chiqarilish va tavsiyalar berilishi kerak.

Yuqorida aytilgan ilmiy faraz va amaliy ishlarning tadbiqu jarayonlarini tekshirish, aniqlash maqsadida pedagogik eksperiment-tajriba ishlari belgilangan aniq talablar asosida yuqori saviyada o'tdi va kutilgan natijalarga erishildi. Pedagogik tadqiqot yakuniy statistika ma'lumotlarisiz, ularning tahlilisiz kerakli ma'lumotlarni namoyon eta olmaydi. Ushbu ish doirasida raqamli texnologiyaga bo'lgan qiziqish va zaruratning kelajakdagi rivoji bo'yicha bir qancha ma'lumotlarga ega bo'ldik.

Eksperiment-tajriba ishining statistik omillarining shaffof bo'lishi va tahlilning ob'ektivligi so'ngi xulosani qilishda bir qancha qulayliklar yaratadi. Statistika ma'lumotlarini tahlil qilish metodiga asoslanib savolnomada berilgan savollarning bir nechtasining tahliliy natijasini keltiramiz:

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Savolnoma boshida ishtirokchilar haqida ma'lumot yig'ish maqsadida 4 ta anketaviy savol berilgan edi. Mana shu ma'lumotlarga e'tibor beradigan bo'lsak, ishtirokchilarning 81,8% ini erkak kishilar tashkil qildi. Bundan kelib chiqadiki, ya'ni elektrenergetika sohasini asosan erkak kishilar tanlagan. Ishtirokchilarning yoshlariga keladigan bo'lsak 80% ini 18-22 yoshdagi kishilar tashkil qildi. Demak, biz xulosa qilsak bo'ladi haqiqatdan ham savolnamaning asosiy ishtirokchilarini talaba yoshlar tashkil etdi (1-rasm).



1-rasm. Ishtirokchilarning jinsi va yoshi bo'yicha statistik ma'lumot

Pedagogik eksperiment-tajriba ishimizda asosiy vazifalarimizdan biri bo'lgan raqamli texnologiyaga bo'lgan qiziqish va zaruratni o'rganish bo'yicha berilgan asosiy savollarga keladigan bo'lsak, 3 – “Internetdan ko'pchilik holatda qanday maqsadta foydalanasiz?” degan savolga berilgan javoblar tahlil qilinganda, talaba yoshlarning 32,9% ishtirokchisi “ta'lim olish uchun” qatorini belgilagan. Shuningdek 5 “Sizni ijtimoiy tarmoqlarga nima jalb qiladi?”– savolida 40,3% ishtirokchi “ma'lumotlarni osongina olishingiz mumkinligi” qatorini belgilagan. Ushbu ikkita savolning tahlilidan ma'lum bo'lganidek, eksperiment-tajriba ishining ishtirokchilari internet va raqamli texnologiyalardan asosan “yangiliklarni kuzatib borish uchun”, “ta'lim olish uchun” va “ma'lumotlarni osongina olishingiz mumkinligi” ni ta'kidlagan (1-jadval).

1-jadval. So'rovnoma natijalari

Savollar	Javoblar	Ovoz berishlar foizlarda (%)
3-savol	Ishdagi topshiriqlarni bajarish uchun	13,9
	Ta'lim olish uchun	32,9
	Biznes qilish uchun	8,5
	Yangiliklarni kuzatib borish uchun	44,7
5-savol	Do'stlar va tanishlar bilan masofadan turib muloqot qilish	24,2
	Yangiliklar	28,6
	Ma'lumotni osongina olishingiz mumkinligi	40,3
	Musiqa tinglash, qiziqarli videolarni tomosha qilish	5
	Oyinlar	1,9

Maqola mazmuni nuqtai nazardan eksperiment-tajriba ishining asosiy ma'nosini ochib beruvchi 11, 12-savollar tahlil qilinganda, “O'quv jarayonida amaliy va laboratoriya ishlarida raqamli texnologiyalardan (muhandislik jarayonlarning

animatsiyalari, virtual simulyatsion laboratoriyalar) foydalanish qay holatta?” savoliga 30,7% ishtirokchilar “ma’ruzalarda slaydlar ko’rsatish bilan cheklanadi” qatorini belgilagan va “Laboratoriya ishlarini auditoriyadan tashqari maxsus yaratilgan mobil ilovalar orqali ham qo’shimcha bajarishni xohlaysizmi?” savolida bo’lsa 68,4% ishtirokchilar “albatta o’zlashtirishimiz uchun yaxshigina imkoniyat” qatorini belgilagan. Ushbu savollarda ko’rsatilgan qatorlarning foiz ko’rsatgichlarini statistik tahlil qiladigan bo’lsak, raqamli texnologiyalar, internet va android tizimlardan kundalik ishlarida keng qo’llanib kelayotgan talaba yoshlarning fikr va istaklarini aniq payqashga bo’ladi. Ya’ni talabalar har kungi dars jarayonlarida hususan amaliy va laboratoriya ishlarida raqamli texnologiyalar, muhandislik jarayonlarning animatsiyalari, virtual simulyatsion laboratoriyalardan keng foydalanishni maqul ko’rishmoqda (3-rasm).

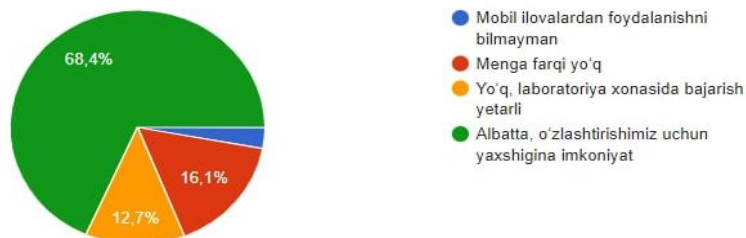
11. O’quv jarayonidagi amaliy va laboratoriya ishlarida raqamli texnologiyalardan (muhandislik jarayonlarining animatsiyalari, virtual simulyatsion laboratoriyalar) foydalanish qay holatta?

727 ОТВЕТОВ



12. Laboratoriya ishlarini auditoriyadan tashqari maxsus yaratilgan mobil ilovalar orqali ham qo’shimcha bajarishni xohlaysizmi?

727 ОТВЕТОВ



3-rasm. 11,12-savollarning statistik ma’lumotlari

Hozirgi kunda mustaqil ishni ko’p hollarda ma’ruzalalar, konspekt va tavsiya etilgan adabiyotlar, davriy jurnallar va internet materiallari bilan ishlashni, laboratoriya ishlarini o’tishga tayyorgarlik ko’rishni, referatlar yozishi, standart talablarga mos ravishda va hisoblash texnikasidan foydalanib bajarishni tavsiya etadi va yana mustaqil ishlar bo’yicha o’zlashtiriladigan mavzular ko’pincha talabalar tomonidan referatlar tayyorlash va uni taqdimot qilish bilan cheklanadi. Mazkur muammoni hisobga olgan holda savolnomaning 13 – “Mustaqil ishlarni ko’proq qanday ko’rinishda bajarasiz?” savolida, muammoda aytilgandek “faqat qog’ozda qo’lda yozish bilan cheklanamiz” qatori 45,8% ishtirokchi tomonidan tanlangan. Bundan ko’rinib turibdiki, mustaqil ishlarning monotonligi, xilma-xil emasligi bugungi ta’lim oluvchilarni zeriktiriyapdi. Ilmiy ishimizning asosiy vositasi hisoblangan o’quv simulyatorlarini joriy etish bo’yicha so’ralgan 14 – “O’quv

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

simulyatorlarini o'quv jarayonida foydalanishni xohlaysizmi?" savolida 61,1% ishtirokchilar "ha, albatta, jarayonni his qilishimiz va tushunishimiz oson bo'lardi" javobini tanlagan (4-rasm).

13. Mustaqil ishlarni ko'proq qanday ko'rinishda bajarasiz?

727 ОТВЕТОВ



14. O'quv simulyatorlarini o'quv jarayonida foydalanishni xohlaysizmi?

727 ОТВЕТОВ



4-rasm. 13,14-savollarning statistik ma'lumotlari

O'quv jarayonidagi muammolarni eksperiment-tajriba metodida savolnomalar tuzish va ularni ishtirokchilarning javoblari orqali statistik tahlil qilish bir muncha murakkab bo'ldi. "Texnikaviy oliy ta'lim muassasalarida simulyatsion yondashuv asosida talabalarning kasbiy kompetentligini takomillashtirish (elektr ta'minoti asoslari fani misolida)" mavzusidagi tadqiqot ishi doirasida talabalarning istak va hoxishlari savolnoma asosida aniqlashtirildi. Ishtirokchilar eksperiment jarayoniga aktiv va qiziqish bilan qatnashdi. Mazkur izlanishlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, barcha talabalar o'qish jarayonida har kuni internet tarmog'idan foydalanib, fanlar bo'yicha axborotlar olib, mustaqil ishlarni bajarish uchun elektron kutubxonalardan foydalanar ekan. Ammo raqamli texnologiyalarning so'ngi yutuqlaridan va fan bo'yicha maxsus ilovalarning yo'qligidan, o'quv simulyatorlarining sohada unchalik qo'llanmaslikdan shikoyat qilayotganlari javoblarning tahlilidan ma'lum bo'ldi.

Xulosa. Pedagogik eksperiment-tajriba ishlaridan xulosa qilib shuni aytish mumkinki, savolnoma ishtirokchilarining jami 91% i ta'lim jarayonlariga raqamli texnologiyalarni, mustaqil ishlarni masofadan bajarish uchun ishlangan dasturiy ta'minotlarni, mutaxassislik fanlar uchun maxsus yaratilgan mobil ilovalarni, laboratoriya ishlarini mukammal bajarish uchun o'quv simulyatorlarini tadbiiq qilishni bugungi kundagi pedagog-o'qituvchilarning oldida turgan asosiy vazifalardan biri deb hisoblaydi.

Ta'lim jarayonidagi bunday o'zgarishlarni ya'ni o'quv jarayonida axborot almashilish jarayonining tezlashishi, talabalarning yangicha ma'lumotlarni olishga bo'lgan chanqoqligi va hozirgi axborot resurslarining (o'quv adabiyotlari, tarqatma materiallar, dasturiy ta'minotlar) xilma-xilligi sabablari hisobiga, o'quv jarayonini yuqori darajada tashkil etishda va kelib chiqishi mumkin bo'lgan muammolarni bartaraf etishda, o'quv simulyatorlaridan foydalanilib dars o'tish to'g'ri echim ekanligi, katta ahamiyatga egaligi va o'quv simulyatorlarini ta'lim jarayoniga tadbiiq qilishga zarurat to'g'ridirayotganligi yuqoridagi statistik ma'lumotardan ma'lum bo'ldi.

Adabiyot

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 5 oktyabrdagi «Raqamli O'zbekiston — 2030» strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risidagi PF-6079-son farmoni.

2. Rakhmonov I.U., Kurbonov N.N., Bijanov A.K. Types of simulators and their efficient architectures// Вестник науки и образования № 9(129). Москва. 2022. – С. 14-19.

3. Новиков А.М. Постиндустриальное образование. М.: Эгвес. 2008.–136 с.

4. Рахмонов И.У., Бижанов А.К. Талабаларнинг касбий компетентлигини симуляцион ёндашув асосида такомиллаштириш / Сборник научных трудов. Ташкент. ТДТУ. 11-12 ноября 2022 года. – С. 212.

5. Drobyshevsky A.A., Organization of students' independent work with the use of computer technology training. Unpublished candidate's thesis (Saratov, 2013).

6. Уткина Т.В. Лабораторные работы как способ достижения метапредметных результатов: Актуальные возможности межпредметной интеграции / Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 4.

7. Бижанов А.К. Таълим жараёнига рақамли технологиялар ва замонавий усулларни жорий этиш // Ўзбекистон миллий университети хабарлари, 2021, [1/3/1]. 48-51 б.

8. Рахмонов И.У., Бижанов А.К. «Ўқув симулятори ёрдамида «Электр таъминоти асослари» фанидан талабалар билимини баҳолаш ва ўзлаштириш кўрсаткичини ҳисоблаш дастури» / Ўз.Рес. Адлия вазирлиги. Дастурий маҳсулотлар реестри 2022 йил 16 июл. № DGU 17645.

9. Рахмонов И.У., Бижанов А.К. «Электр таъминоти асослари» фанини ўқув симулятори ёрдамида ўқитишда тажрибавий натижаларни ҳисоблаш дастури / Ўз.Рес. Адлия вазирлиги. Дастурий маҳсулотлар реестри 2022 йил 16 июл. № DGU 17646.

Toshkent davlat texnika universiteti va Qoraqalpoq davlat universitetlari tomonidan taqdim etilgan

UDK 37.091.33:621.3/38.004.001.76

TEXNIKA OLIY TA'LIM MUASSASALARIDA "ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA" FANINI O'QITISHNI TAKOMILLASHTIRISH YO'NALISHLARI

L.A. Nematov

Maqolada texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida o'qitishni tashkil qilishning maqsadi va vazifalari, o'qitish metodikasi, fanining predmeti, qonuniyatlari, tamoyillari, ularning o'ziga xosliklari, o'qitish jarayonlari va teskari-aloha – bilim olish haqida bayon qilingan.

В статье описаны цели и задачи организации преподавания предмета "Электротехника и электроника" в технических вузах на основе современных педагогических и информационных технологий, методы обучения, предмет, закономерности, принципы, их специфика, процессы обучения и обратная информационная связь.

The article describes the goals and objectives of the organization of teaching the subject "Electrical Engineering and Electronics" in technical higher education institutions on the basis of modern pedagogical and information technologies, teaching methods, subject, laws, principles, their specifics, teaching processes. and feedback information.

Kirish. Mamlakatimizda amlga oshirilayotgan islohatlar, chunonchi – yangi tahrirda 2020 yil 23 sentyabr kuni qabul qilingan O'zbekiston Respublikasi "Ta'lim to'g'risida"gi Qonunida bayon etilgan qoidalarni amalga oshirish va tayyorlanayotgan yo'nalishlar bo'yicha mutaxassis bakalavr, magistrlar sifatini jahon ta'limi andazalari talablariga mos tushishini taminlash, oliy talim oldiga qo'yilgan eng dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Aytish lozimki, mazkur masala va muammolarni hal qilish uchun respublikamizda keng ko'lamda ta'lim tarbiya ishlari va axborat texnologiyalari, telekommunikatsiyalarini rivojlantirishga qaratilgan katta tajribaga, o'qishga, tashkiliy va amaliyotga oid ishlar olib borilmoqda. Oliy o'quv yurtlari yangi jixozlar, kompyuter texnikasi, zamonaviy buyumlar va vositalar bilan taminlanmoqda, iqtidorli talabalar rivojlangan mamlakatlarga o'qishga yuborilmoqda va qo'shma dasturlar asosida chet el institutlari bilan hamkorlikda yangi mutaxassisliklar bo'yicha oliy ma'lumotli kadrlar tayyorlanmoqda. Yangi-yangi institutlar, universitetlar, texnikumlar, akademik litseyalar, kollejlar tashkil etilmoqda va bu ishlar davom etmoqda. Rivojlangan mamlakatlarda bilan qo'shma korxonalar tuzilmoqda. Mazkur olib borilayotgan ko'pqirrali ishlar asosan, tayyorlanayotgan mutaxassisliklarning sifatini oshirishga qaratilgan.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanini o'qitish metodikasi predmeti muhandis mutaxassisliklarni tayyorlashda o'quv rejalarida yetakchi o'rini egallaydi.

Unda o'quv rejalaridan bo'lajak mutaxassislarning yetuk muhandis bo'lib yetishishlari uchun zarur predmetlar, o'qitishning tarbiyaviy vazifalari, muhandis mutaxassislarga o'qitilayotgan "Elektrotexnika va elektronika" faninining boshqa fanlar bilan aloqasi va uzviyligi, ularning ishlab chiqarish amaliyotlari ham bu fan bilan birgalikda olib borish kerakligi ko'rsatib berilgan.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanini o'rgatishini ma'ruza, amaliy, tajriba mashg'ulotlar va mustaqil ta'limda g'oyaviy-siyosiy, ma'rifiy-tarbiyaviy usullari bilan, ta'lim berish sifati va samaradorligini oshirishning zamonaviy usullari va vositalari o'quv-tarbiyaviy jarayonini oqilona tashkil etish talabalarining bilim olishlarini faollashtirish kabilar bilan doimo birgalikda olib borilishi kerak.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida o'rgatish jarayoni turli xildagi ko'rgazmali o'quv qurollarini ko'rsatish bilan, mashqlar, misoollar va dasturlardan foydalanishni o'rgatish jarayoni, bu mashg'ulotlarning o'zaro uzviy bog'langanliklari bilan olib borilishi lozim.

"Elektrotexnika va elektronika" fanidan dars berishda elektrotexnika va elektronikaga oid barcha ko'rgazmali texnik qurollar bo'lishi lozim. Shuningdek, ta'lim berishning zamonga xos texnik vositalaridan, dasturlardan, diafilmlar, slaydlar, kinofilmlar, o'rgatuvchi va nazorat qiluvchi kompyuterlardan hamda ularning dasturlaridan, qo'llanmalaridan foydalanish kerak.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida o'rgatishda, o'zgarmas tok elektr zanjirlari, sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlari, elektr zanjirlarida rezonans hodisalari, uch fazali o'zgaruvchan tok zanjirlari, davriy nosinusoidal tok zanjirlari, nochiziqli zanjirlar, transformatorlar, o'zgarmas tok elektr mashinalari, asinxron va sinxron mashinalar, sanoat korxonalarining elektr ta'minoti, elektr yuritmalar va elektronika asoslarini bilish va tahlil qilish, uni takomillashtirish va optimallashtirish, ma'ruza amaliy va tajriba mashg'ulotlari hamda mustaqil ta'limda muhandislik yo'nalishlari bo'yicha texnika vositalari va energiya tejoychi texnologiyalarni o'rganishga imkoniyat yaratuvchi mutaxassislik va umumtexnik fanlarni egallagan bo'lishi, texnika qonunlariga ko'ra idrok etishi, bilishi va ularda kechadigan texnik qonunlarga tayanishi, amal qilishni, ya'ni o'qitishning texnik prinsiplariga va vositalariga amal qilishi hamda tajriba mashg'ulotlarida elektr zanjir sxemalarini yig'ishi, hamda ularni ishlash jarayonini bilish lozim.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida ta'lim berish, elektr sxemalar va ularning tuzilishini o'rgatishdan iborat bo'lmay, balki ular tuzilishining asosida yotuvchi nazariyaga oid bilimlarni mazkur dasturlardan foydalanishga oid misollarni tushunib yetishdan iborat bo'lmog'i lozim.

"Elektrotexnika va elektronika" fanining maqsadi nafaqat texnik fanlarni o'qitishda, elektrotexnika va elektronika qurilmalarini ishlash jarayonini tahlil qilish, ularni qayerlarda va qanday maqsadlarda foydalanish, hamda bu fanni bo'lajak muhandislarda o'qitishdagi zamonaviy pedagogikaga oid metodika, uslubiyotni o'qitish shakillari va usullarini o'rgatishdan iboratdir.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanidan dars beradigan pedagog-xodimlar bu fandan nazariy va amaliy bilimlarni egallashi bilan birga, turli mashg'ulotlarni o'tkaza bilish qobiliyatiga ega bo'lishi shart.

Ta'lim va tarbiyaning umumiy maqsadlaridan texnika oliy ta'lim muassasalarida "Elektrotexnika va elektronika" fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida ta'lim berish jarayonini tahlil qilishda, ushbu fanning fan sifatida o'ziga xosligi, uning zamonaviy fanlar tizimida tutgan o'rni va rovidan, hozirgi jamiyat hayotidagi ahamiyatidan kelib chiqqan holda, ushbu fanni o'qitish metodikasini o'qitishning maqsadlarini quyidagicha belgilash mumkin:

"Elektrotexnika va elektronika" fanidan dars mashg'ulotlarini olib boradigan pedagog-xodimlar bu fanni o'qitishda:

- "Elektrotexnika va elektronika" fanidan o'qitish qonuniyatlari va tamoyillari;
- ta'lim mazmunini tanlash mezonlari, o'qitish metod va vositalari;
- o'qitishning axborot texnologiyalari, dars mashg'ulotlarini tashkil etish;
- o'qituvchining o'quv me'yoriy hujjatlari va metodik ishlari, ularni rejalashtirish, tashkil etish va tayyorlash metodikasi to'g'risida tasavvurga ega bo'lishi;
- "Elektrotexnika va elektronika" fanidan o'qitish jarayonining tuzilishi, qonuniyat va tamoyillari;

- talabalarning diqqatini jalb qilish va mashg'ulot samaradorligini oshirish metodlari va vositalari, o'qitish shakllari, ma'ruza, amaliy va tajriba mashg'ulotlari, mustaqil ta'lim, hisob-grafik ishlari, mustaqil ta'limni tashkil etish va o'tkazish metodikasini bilishi va ulardan foydalana olishi;

- "Elektrotexnika va elektronika" fanini o'qitish jarayonida talabalarning bilimi, ko'nikma va malakalarini tahlil etish turlari, shakl va metodlarini, o'qitishning multimedia va interfaol ta'lim texnologiyalarini bilishi va ulardan foydalana olishi;

- didaktik ta'minotni ishlab chiqish, mashg'ulot ishlanmalarini tayyorlash, o'quv-uslubiy majmualarini ishlab chiqish, o'qitish jarayonida baholash tizimini qo'llash;

- o'qitishda mashg'ulotlarning rejasini tuzish va ma'ruza matnini tayyorlash, ochiq mashg'ulotlarni o'tkazish va hujjatlarni rasmiylashtirish, yil, semestr bo'yicha o'quv ishlarining tashkil etilishini rejalashtirish, auditoriyadan tashqari ish shakllariga rahbarlik qilish;

- hayotida axborot texnologiyalardan ongli va oqilona foydalanish ko'nikmalarini shakillantirish;

- o'qitish jarayonida axborot texnologiyalari va interfaol texnologiyalarini qo'llash ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak.

Texnika oliy ta'lim muassasalarida pedagog-xodimlari "Elektrotexnika va elektronika" fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida o'qitish metodikasini egallash uchun mutaxassislik fanlarini egallash va ularni tafakkurini rivojlantirish lozim. Bu vazifa zamonaviy pedagog oldida turgan birinchi vazifadir.

Ilmiy dunyoqarash asoslarini shakillantirish. Bu muhim vazifani hal etishda butun pedagogik jamoa barcha o'quv predmetlarini o'qitish jarayonida ishtirok etadi.

Talabalarni amaliy faoliyatga, mehnatga, ta'lim olishni davom ettirishga tayyorlash.

Malumki, ta'lim – ikki yoqlama jarayon. Bu jarayonda pedagog ham, talabalar ham faol bo'lishi kerak. Agar pedagog o'z ishida muvaffaqiyatga erishishni istasa, u albatta, talabalarning faolligini to'g'ri yo'lga solishga intiladi. Pedagog berayotgan

axborot talabalar tomonidan qanday qabul qilinayotganini, boshqacha qilib aytganda “Teskari aloqa – bilim olish” yuzaga kelayotganligiga ishonch hosil qilishi kerak. Teskari aloqa ta’lim berishning asosiy maqsadi va shartidir [7].

Ta’lim va tarbiya berishning didaktik prinsiplarini oydinlashtirishda, barcha fanlarni ilmiy asoslarini yaratishda ko’plab olimlar o’zlarining faoliyatlari va asarlarida bayon etganlar. Olimlarning nomlarini bayon etishdan avval didaktika-didaktik jarayon, didaktik so’zlari nima degan savolga javob berish kerak. Ta’lim berish jarayonida pedagog va talabalarning harakatlari bir butun bo’lib birlashadi, mana shu jarayonni didaktik jarayon deb ataladi. Didaktik jarayon bilim berish va bilim qabul qilishning hamohang tizimidir.

Didaktika – pand nasihatnoma bo’lib, u pedagogikaning ta’lim va uning mazmuni, umumiy metod va shakllari haqidagi bo’limi.

Didaktik – 1. Didaktikaga oid, didaktik prinsiplarga asoslangan, masalan, biron bir asar yoki boshqa hisoblanadi.

2. Ibrat bo’ladigan, o’git-nasihat beradigan tushuncha tushuniladi.

Ushbu yo’lda zahmat chekkan pedagoglar qatorida avvalo, Sharq ta’limi durdonalarini yaratgan buyuk allomalar: Farobiy, Al-Xorazmiy, Beruniy, Ibn Sino va boshqalarni sanash mumkin [6].

“Elektrotexnika va elektronika” faniga oid ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borishda quyidagi yo’nalishdagi mavzularni, ya’ni texnik qobiliyatlarni shakllantirish, konstruktiv texnik masalalar yechimini topish, texnik tafakkurni o’rganish kabi sohalarda faoliyat olib borgan o’zbek olimlari: A.S. Karimov, M.M. Mirhaydarov, G’R. Shoyoqubov, B.A. Abdullayev, S.G. Bleyxman, O.M. Burxonxo’jayev, A.A. Qashqarov, N.U. Tureunxo’jayeva, S.A. Karimov, Sh.E. Begmatov, S.F. Amirov, A.I. Xonboboyev, I.U. Raxmonov va boshqalarni keltirish mumkin.

Keyingi vaqtlarda dunyo miqyosida “Elektrotexnika va elektronika” fanini o’rgatish va o’qitishda John Bird, G. Charls, S.J. Chapman, G. Rizzoni, V.G. Gerasimova, Yu.M. Muzin, G.A. Kardashev, M.V. Nemsov, M.L. Nemsova kabi olimlar tomonidan yaratilgan ilmiy ishlariga katta ahamiyat berilmoqda va boshqalarni ko’rsatish mumkin.

Aytish kerakki, zamon standartlari va kvalifikatsiya tavsif talablariga muvofiq muhandis xodimlarni tayyorlash va takomillashtirishga qaratilgan psixologiya va pedagogikaga oid adabiyotlar tahlili maxsus fanlarning tashkiliy uslubiy va nazariy metodologik asoslari, texnika fanlaridan o’quv mashg’ulotlarini o’tkazishning o’ziga xos tashkiliy asoslari, zamonaviy talablari oydinlashtirilmaganligi, mutaxassislik va tanlov fanlardan dars o’tishda didaktik vositalarni unumli qo’llash, foydalanishining optimal shartlari aniqlanmaganligi oldindan ma’lum [8].

“Elektrotexnika va elektronika” fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida o’qitishni takomillashtirish metodikasi bo’yicha yaratilgan didaktik adabiyotlar tahlili, oliy ta’lim sohasidagi pedagogik va psixologik muammolarning so’nggi davrdagi yechimida fanning metodologiyasiga oid masalalar yetarli darajada tadqiq etilmaganligini, shuning uchun ularni tadqiq qilish kerakligini ko’rsatmoqda.

Mamlakatimizda amalga oshirilayotgan islohotlar, ishlab chiqarish korxonalarining zamonaviy kompyuterlar, energiya tejovchi texnologiya bilan jihozlanishi, qo’shma korxonalarining tuzilishi va ularning ishga tushirilishi, fan va texnikaning

rivojlanib borishi, ularda ishlaydigan mutaxassislarning har tomonlama bilimdon va yuqori malakali bo'lishini taqazo etmoqda.

“Elektrotexnika va elektronika” fanini zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida o'qitishni takomillashtirish metodologiyasini yaratishda quyidagi muammolar mavjud:

Respublikamiz oliy ta'lim tizimida amalga oshirilayotgan keng qamrovli islohotlarni davom ettirgan holda, yangi tahrirdagi 2020 yil 23 sentyabrda qabul qilingan O'zbekiston Respublikasi “Ta'lim to'g'risida”gi Qonuni asosida jahon andozasi talablariga mos tushuvchi mutaxassis xodimlarni tayyorlash;

Mutaxassislar tayyorlashdagi sifatni oshirish;

Mutaxassis tayyorlashda ko'p pog'onali ta'lim tizimiga o'tib, 4 yil davomida fundamental fanlar bo'yicha ta'lim berib, bakalavr va boshqa mutaxassislar tayyorlash;

Tadqiqot qilinayotgan mutaxassislikka xos, dunyo ta'lim andozalari talablariga mos tushuvchi ta'lim standartlarini ishlab chiqarish va ularni hayotga tatbiq etish;

Oliy ta'limda o'qitishning ko'p bosqichli tizimiga o'tish uchun zarur bo'lgan o'qitishning tashkiliy metodikasini va nazariy metodologiyasini ishlab chiqarish va sohalarga xos adabiyotlarni yaratish va boshqalar.

O'zbekiston Respublikasining “Talim to'g'risida”gi Qonuni shaxsni birinchi o'ringa qo'ydi. Faqat yuksak bilim va malakalarni mustahkam egallagan, shu bilan birga yuksak ma'naviyatli va milliy o'zligini chuqur anglagan mutaxassislargina O'zbekistonni kelajakda har tomonlama ilg'or mamlakatlar qatoriga olib chiqishi muqarrar.

Hozirgi sharoitda Texnika oliy ta'lim muassasalarida “Elektrotexnika va elektronika” fanidan dars mashg'ulotlarini olib borayotgan pedagog-xodimlar va bu fandan bilimlarni o'zlashtirayotgan talabalarni tayyorlashga bo'lgan ijtimoiy talablar bilan ularning mutaxassis sifatida o'z vazifalarini yuqori darajada bajarishi va amaliy tayyorgarligi o'rtasida nomunosiblik mavjud.

Bu nomunosiblik:

“Elektrotexnika va elektronika” fanidan dars mashg'ulotlarini olib borayotgan o'qituvchilarni tayyorlashga xos o'quv jarayonining yetarlicha metodik qo'llanmalar bilan ta'minlanmaganligi va o'qituvchilar tayyorlashda moddiy-texnik bazaning yetarli darajada emasligi;

o'quv jarayonini tashkil etishdagi shakl va metodlarning kam variantlilik va boshqalarda namoyon bo'lib turibdi.

Yuqoridagilardan kelib chiqib aytish mumkinki, “Elektrotexnika va elektronika” fanidan dars mashg'ulotlarini olib boradigan o'qituvchilarni tayyorlashni takomillashtirishdagi mavjud kamchiliklarni bartaraf qilishni quyidagi asosiy yo'nalishlarda:

“Elektrotexnika va elektronika” fani mazmunini integratsiyalash,

amaldagi dastur va rejalarni zamon talablariga mos ravishda qayta ishlash va to'ldirish,

“Elektrotexnika va elektronika” fanidan berilayotgan ta'limning samarali shakl va uslubiyot, metodlarini izlab topish,

Texnika oliy ta'lim muassasalarida tayyorlanayotgan muhandislarning “Elektrotexnika va elektronika” fani bo'yicha zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalari asosida mustaqil o'quv-metodik faoliyatini kuchaytirish kabi olib boriladigan ishlarda o'z aksini topishi mumkin.

Adabiyot

1. O‘zbekiston Respublikasi “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. Toshkent sh., 2020 yil 23 sentyabr. <https://lex.uz/docs/5013007>
2. Mirziyoev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. Toshkent, – “O‘zbekiston” NMIU, 2017. – 485 b.
3. Mirziyoev Sh.M. Erkin va farovon demokratik O‘zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. Toshkent, – “O‘zbekiston” NMIU, 2017. – 29 b.
4. G‘ulomov S.S. va boshqalar. «Oliy ta’lim. Me’yoriy hujjatlar to‘plami», - Toshkent, 2001 y.
5. G‘ulomov S.S. va boshqalar. «Oliy ta’lim. Me’yoriy hujjatlar to‘plami», - Toshkent, 2004 y.
6. Azizxodjaeva N.N. – Pedagogik texnologiya va pedagogik mahorat. O‘quv qo‘llanma. - Toshkent, 2003. 120-b.
7. Ishmuxamedov R., Abduqodirov A., Pardaev A. Ta’limda innovatsion texnologiyalar. Ta’lim muassalari pedagog-o‘kituvchilari uchun amaliy tavsiyalar / - Toshkent, Iste’dod, 2008. – 180 b.
8. Olimov Q.T., Uzoqova L.P., Halimova Z., Rustamov R.M., Ashurova S.Y. Maxsusfanlarni o‘qitish metodikasi. O‘quv qo‘llanma. – Toshkent, - «Fan», 2004, - 120 b.
9. Qosimova A.X., Xoliqova F.A. // Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat. – Toshkent, - 2004. 52-b.
10. Aripov M., red. Mansurov SH. Axborot texnologiyalari. O‘quv qo‘llanma. - Toshkent, Noshir, 2009. - 368 s.
11. <http://www.gov.uz> – O‘zbekiston Respublikasi hukumat portali.
12. <http://www.lex.uz>. – O‘zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi.

*Buxoro muhandislik – texnologiya
institute tomonidan taqdim etilgan*

UDK: 373.091.33:621

**OLIY TA'LIM MUASSASALARIDA NAZARIY ELEKTROTEXNIKA
FANINI O'QITISHNING ZAMONAVIY MUAMMOLARI VA INNOVATSION
USULLARI**

D.X. Xalmanov

Ushbu maqolada oliy ta'lim muassasalarida "Nazariy elektrotexnika" fanini o'qitishdagi mavjud kamchiliklar va ularni bartaraf etish doirasida olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot ishlari hamda fanni o'qitishni takomillashtirishda innovatsion o'qitish usullaridan foydalanish metodikasi ko'rsatilgan.

В статье представлены существующие недостатки преподавания дисциплины «Теоретическая электротехника» в высших учебных заведениях и исследовательский анализ их устранения, а также методика улучшения преподавания предмета при использовании инновационных методов обучения.

The article presents the existing shortcomings in teaching the discipline "Theoretical Electrical Engineering" in higher educational institutions and the research carried out as part of their elimination, as well as a methodology for improving the teaching of the subject when using innovative teaching methods.

Bugungi kunda sanoatning rivojlanishi va xalq-xo'jaligini raqamli texnikalarsiz tasavvur qilib bo'lmagani kabi, elektr ta'minotisiz ham tasavvur qilish mushkuldir. Shunday ekan, elektr ta'minoti korxonalar uchun malakali mutaxassislar tayyorlash tizimning dolzarb muammolaridan biri bo'lib kelaveradi. Oliy o'quv yurtlarining "Elektr energetika" bakalavriat ta'lim yunalishlari talabalariga o'qitiladigan "Nazariy elektrotexnika" fani mutaxassislik fanlarini urganishda asosiy fanlardan biri bo'lib, bu fanni yaxsh o'zlashtirgan talabalar soxaga oid mutaxassislik fanlarini oson o'zlashtiribgina qolmay, balki tezkor fikrlaydigan, to'g'ri va oqilona qaror qabul qila oladigan darajaga yetish imkoniga ega bo'ladi.

"Nazariy elektrotexnika" fanini o'qitishni takomillashtirish doirasida olib borilayotgan izlanishlar va tadqiqotlar natijasida quyidagi kamchiliklar aniqlandi va ularni bartaraf etishda tavsiyalar ishlab chiqilmoqda.

"Nazariy elektrotexnika" fanidan 60710600- Elektr energetikasi (elektr ta'minoti) bakalavriat ta'lim yunalishi uchun o'quv rejasiga muvofiq 75 soat ma'ruza mashg'uloti, 30 soat amaliy mashg'ulot, 30 soat laboratoriya ishi mashg'uloti, 105 soat mustaqil ta'lim uchun, jami 240 soat, 8 kredit ajratilgan bo'lib, 3-4- semestrda mo'ljallangan [1].

Aniqlangan kamchiliklar: Ta'lim sifatini oshirishda fanga ajratilgan soatlar bilan birga mashg'ulotlarni to'g'ri tashkil etish ham muhim ahamiyatga ega. Aksariyat hollarda, guruhlar uchun dars jadvali tuzulayotganda, amaliy yoki laboratoriya mashg'ulotlari ma'ruza mashg'ulotida oldin quyiladi. Bu ta'lim sifatiga salbiy ta'sir etadi, chunki, ma'ruza mashg'ulotining kirish qismida fanni mazmuni va mohiyati, boshqa fanlari bilan bog'liqligi, shuningdek keying semestrlarda o'qitiladigan mutaxassislik fanlarida tutgan o'rni bayon qilinadi.

- “Nazariy elektrotexnika” fanidan ma’ruza mashg’ulotini olib borishda- faqat an’anaviy usuldan foydalanish, ya’ni mashg’ulot davomida o’qituvchining faolligida kuzatilishi. Bunda o’qituvchi dars davomida mavzuni tushuntiradi va ko’proq yozdiradi, natijada talabalarning mashg’ulotdan bezishiga va fanga nisbatan qiziqishlarini so’nishiga sabab bo’ladi;

- “Nazariy elektrotexnika” fanidan amaliy mashg’ulot olib borishda- mavzuga oid berilgan masala faqat analitik usulda yechili, bunda talabalarning fanga bog’liq bo’lgan boshqa fanlarni, jumladan Matematika fanini o’zlashtirish darajasi turlicha ekanligi, ayrim talabalar masalani yecha olmasligiga va mashg’ulot zerikarli bo’lib qolishiga olib keladi;

-“Nazariy elektrotexnika” fanidan laboratoriya mashg’ulotlarini olib borishda- guruh kichik guruhlarga bo’linsada, talabalar soni 12 nafardan oshib ketishi, laboratoriya jihozlarni ishlab chiqarishdagi jihozlarga nisbatan eskirganligi, ayrim uskunalarning yetishmasligi, mashg’ulotni sayoz o’tishiga zamin yaratadi;

- “Nazariy elektrotexnika” fanidan mustaqil ta’limga ajratilgan soatni ko’pligi va talabalarning ko’pchiligi bu soatlardan unumli foydalana olmasliklari.

Nazariy elektrotexnika fanini o’qitishning innovatsion usulini yaratishda - didaktik tamoyillarga asoslanib, fanning mazmuni va mohiyatidan kelib chiqqan xolda yondashish, shuningdek talabalarni o’zlashtirish darajasi turlicha bo’lishini inobatga olish muhim ahamiyat kasb etadi [2].

Nazariy elektrotexnika fanini o’qitishning innovatsion usuli fanni o’rganishda o’z predmetiga ega bo’lib, fanning ma’lum bir bo’limi va tadqiqot usullari, shuningdek ular yordamida amalga oshiriladigan tadqiqot jarayoni fanni oson o’zlashtirishda muhim vazifa bajaradi. Bularga ham nazariy, ham eksperimental usullar kiradi. Ularni quyida ko’rib chiqamiz.

Nazariy elektrotexnika fanini o’qitishni innovatsion usulining vazifasi bu - uchta savolga javob izlashdan iboratdir: fanni, nima uchun o’qitish kerak, nimani o’qitish kerak va qanday o’qitish kerak (1-rasm).



1-rasm. Nazariy elektrotexnika fanini o’qitishni innovatsion usuli

Savollarga javoban quyidagicha yondashish mumkin:

1. Ma’lumki, oliy ta’lim muassasalari ijtimoiy buyurtmani bajaradi. Demak oliy ta’limning, xususan Nazariy elektrotexnika fanining maqsadi jamiyat ehtiyojlari bilan belgilanadi;

2. Jamiyat taraqqiyoti ta'lim maqsadlarining o'zgarishiga olib keladi. Fanning tarkibi esa, ta'lim maqsadlariga bog'liqdir. Misol uchun, agar talabalarda ilmiy dunyoqarashni shakllantirish maqsadi qo'yilgan bo'lsa, nazariy elektrotexnika kursining mazmuni, ilmiy dunyoqarash xarakteridagi materiallarni qamrab olishi kerak; agar talabalarda fan-texnika taraqqiyotining asosiy yo'nalishlari to'g'risidagi g'oyalarni shakllantirish maqsadi qo'yilsa, ushbu kursga tegishli materiallar bilan to'ldirilishi kerak. Vaqt o'tishi bilan, ta'lim maqsadlari ham, taraqqiyot ham o'zgaradi, shunday ekan nazariy elektrotexnika kursining mazmuni ham isloh qilinishi kerak;

3. Odatda o'quv maqsadlariga mos keladigan, o'qitishning maqsadlariga ham, uning mazmuniga ham bog'liq bo'lgan o'qitish usullari, vositalari va tashkiliy shakllari tanlanadi. Misol uchun, talabalarning tadqiqotchilik eksperimental ko'nikmalarini rivojlantirish maqsadi qo'yilgan bo'lsa, kurs mazmuni tajriba-sinov (laboratoriya) ishlarini o'z ichiga olishi, o'qitishning tadqiqot usulidan, tegishli o'quv qo'llanmalardan, o'quv faoliyatini tashkil etishning individual shakllaridan foydalanish kerak bo'ladi [3].

Kamchiliklarni bartaraf etishga tavsiyalar:

- "Nazariy elektrotexnika" fanidan ma'ruza mashg'ulotini olib borishda - pedagog o'z mahoratidan kelib chiqib, innovatsion usullarni ham qo'llashi maqsadga muvofiqdir. Bunda talabalarni faolligini oshirish, hech bo'lmaganda 20 daqiqada bir marotaba berilgan ma'lumotlar yuzasidan savol-javob usulini qo'llashi, mashg'ulot davomida taqdimot saytlaridan unumli foydalanishi tavsiya etiladi;

- "Nazariy elektrotexnika" fanidan amaliy mashg'ulot olib borishda – berilgan masalani yechishda, guruh talabalarini kichik guruhlariga bo'lib, masala shartlari yuzasidan topshiriqlarni taqsimlab berish, misol uchun: 1-guruhga analitik usulda hisoblash ishlarini, 2-guruhga olingan hisoblash natijalar asosida vektor diagrammasini qurdirish, 3-guruhga elektr zanjirlari sxemasini modellashtirishga mo'ljallangan "NI MULTESIM" dasturidan foydalanib tahlil qilish topshiriqlari berilsa bir vaqtning o'zida uchta masala echish imkonini beradi va mashgulotda barcha talabalar faol ishtirok etishini ta'minlaydi [4];

- "Nazariy elektrotexnika" fanidan laboratoriya mashg'ulotlarini olib borishda - Oliy o'quv yurtining moddiy va kafedraning ichki imkoniyatlaridan kelib chiqqan holda, laboratoriya jihozlarini yangilash va zamonaviylashtirish, bugungi kunda barcha soxalarda raqamlashtirish jarayoni amalga oshirilayotganligin hisobga olib, kafedrada virtual laboratoriya ishlarini bajarishga mo'ljallangan kompyuter sinf xonalarni tashkil etish maqsadga muvofiqdir. Virtual laboratoriya ishlarini bajarish talabalarda kompyuter texnologiyalaridan foydalanish kunikmalarini hosil qilish bilan birga avtomatlashtirilgan tizimda bemalol ishlay olish imkonini beradi [5];

- "Nazariy elektrotexnika" fanidan ajratilgan mustaqil ta'lim soatlaridan talabalar unumli foydalanishlarini ta'minlash, talabalarni bo'sh vaqtini mazmunli tashkil etish maqsadida kafedralarda o'qitiladigan fanlarda to'garaklar tashkil etilishi va to'garaklarda jadval asosida talabalarni jalb etish tavsiya etiladi.

Xulosa o'rnida shuni ta'kidlash mumkinki, nafaqat "Nazariy elektrotexnika" fanini, balki, boshqa fanlarni ham o'qitishda innovatsion usullardan foydalanish yuqori natijaga erishish imkonini beradi.

Adabiyot

1. “60710600-Elektir energetikasi (elektir ta’minoti)” bakalavriat ta’lim yo’nalishi o’quv rejasi. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti rektori tomonidan tasdiqlangan. - T.: 2021.

2. Ахунжанов А.Т., Махмудов А.Х., Джураев Р.Х. Дидактический потенциал шахматной игры // Наука и образование сегодня, **6(53)**, Москва, 2020. - С.70-71.

3. Xalmanov D.X., Peysenov M.B. Oliy o’quv yurtlari talabalariga nazariy elektrotexnika fanini o’qitishning asosiy didaktik tamoyillari /Сборник международной научной конференции «Перспективы в энергетике и современные решения проблем». Наманган, 2022, - С.259-262.

4. D.X. Xalmanov. Elektrotexnika va elektronika murakkab elektir zanjirlarini hisoblash // Uslubiy ko’rsatma. – T.: TDTU, 2022, - 38 b.

5. SH.E. Begmatov, B.X. Mirzaxmedov, D.X. Xalmanov, U.E. Norqulov, Elektrotexnika va elektronika asoslari // Virtual laboratoriya ishlarini bajarish uchun o’quv-uslubiy qo’llanma. – Yangiyer: TKTIYF, 2022. - 120 b.

*Toshkent davlat texnika universiteti
tomonidan taqdim etilgan*

ИСПОЛЬЗУЙТЕ БЕЗУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



БЕРЕГИТЕ ПРИРОДУ



Индекс 1070

БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

**ГОДОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

