



ISSN (print) 2091-5985

ISSN (online) 2181-1946

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 2

2021

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

Ш.М.Мирзиёев

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

Ш.М.Мирзиёев

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

Sh.Mirziyoyev



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

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

ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ

Журнал 2002 йилда
ташкил қилинган

Йилига 4 марта
чоп этилади

2021 й. _____ №2

ТОШКЕНТ - 2021

ТАҲРИР КЕНГАШИ АЪЗОЛАРИ

Акад. А.У.Салимов (раис), акад. Р.А.Захидов (раис ўринбосари), акад. Т.Х.Насиров,
акад. Н.Р.Юсупбеков, т.ф.д., проф. Дж.Н.Муҳиддинов, 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. Гайилов	Рос ФА мухбир аъзоси Н.И. Воропай (Россия)
т.ф.д., проф. А.Д. Таслимов	т.ф.д., проф. М.Ш. Мисриханов (Россия)
т.ф.д., проф. М.К. Бобожанов	Украина МФА акад. А.Ф. Верлань (Украина)
т.ф.д., проф. М.И. Ибадуллаев	проф. Christian Kreischer (Германия)

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

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

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

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

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

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

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

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

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

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

МУНДАРИЖА

ЭЛЕКТРЭНЕРГЕТИКАСИ

К.Р. Аллаев. Келажак энергетикаси - бу қайта тикланувчи ва атом ресурсларини бирга ишлатилиши (симбиоз)	14
А.Д. Таслимов, М.В. Мелиқўзиев. Шаҳар таксимловчи электр тармоқларининг оптимал конфигурациясини аниқлаш қоидалари таҳлили	33
Т.Ш. Гайибов, Б.А. Узаков. Тармоқлардаги исрофларни ва функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиб, энергетика тизимлари ҳолатларини оптималлаш	42
М.Б. Худаяров, Т.А. Икрамов, Н.Н. Нормаматов. Электр юкламасини ноаниқ-нейрон моделлари асосида прогнозлаш	54
Т.Ф. Махмудов. Нейрон тармоқ ва ноаниқ мантиқ усули асосида тизимли стабилизатор моделини ишлаб чиқиш	65

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

Tyukhov Igor, Okamoto Nicole, Sanchez Jesus, Semahegn Samuel. Анъанавий муҳандислик лабораториясида фотоэлектрик асослар ва амалий мавзуларни амалга ошириш	79
Р.Р. Авезов, Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов. Қуёш нурларини тубидан ютувчи ясси хажмий қабул қилгичли қуёш сув иситгич коллекторларининг мавсумий иситиш қобилияти ва иссиқлик самарадорлиги	87
Л.М. Эшқуватов, Н.Т. Ташбаев, Р.П. Бабаходжаев. Қуёш нурларини тубидан ютувчи ясси хажмий қабул қилгичли қуёш сув иситгич коллекторларининг мавсумий иситиш қобилияти ва иссиқлик самарадорлиги	94

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

Ю.В. Даус, Д.А. Десятниченко, И.В. Юдаев. Қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари учун электр таъминоти тизимларида фотоэлектр ўрнатмаларини қўллаш	102
М.К. Бобожанов, С.К. Махмутхонов, С.С. Айтбаев. Металлургия саноатида электр энергия сифатини оширишни тадқиқ этиш	111
Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев, Г.Ю. Рузикулов. Энергия тежамкор қуёш-иссиқлик насосли қуритиш - совутиш камерасининг иссиқлик ва намлик режимини тадқиқот қилиш	121
О.Р. Сытдыков, А.М. Мирзабаев, Р.А. Ситдиқов, О.В. Радионова. EROEI - Ўзбекистонда фотоэлектрик станцияларининг энергия рентабллили кўрсаткичи	130
Р.Ч. Каримов. Контактсиз коммутацияловчи қурилмалар асосида конденсатор батареялар қувватини ростлаш схемасини такомиллаштириш	145

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

Н.И. Чернова, С.В. Киселева. Биологик ёкилғи ва микроалботлардан тегишли маҳсулотларни ишлаб чиқариш бўйича Ўзбекистон Республикасининг ресурс салоҳияти .	155
Н.Р. Авезова, Р.Р. Авезов, А.У. Вохидов, Э.У. Рахимов, М.А. Қуралов, А.Э. Хаитмухамедов. Ясси қуёш сув иситиш коллекторларининг атроф-муҳитга иссиқлик йўқотиш коэффициентини аниқлаш учун кўппараметрли боғлиқликлар	167
Д.У. Абдухамидов, А.У. Вохидов, К.Ю. Рашидов, А.Ю. Усманов. Қуёш коллекторлари иссиқлик қабул қилувчи панелларининг иссиқлик самарадорлиги коэффициентини ошириш	174
О.Ф. Тукфатуллин, Р.А. Муминов, И.А. Рахматуллаев, О.М. Турсункулов, К.А. Джумамуратов. Фотоэлектрик модуль сиртида тўпланган чанг ва кир микрозаррачаларининг морфологик хусусиятлари	188
О.А. Любчик, Т.Г. Зорина. Беларус Республикасида энергия хавфсизлигини оширишнинг йўналишларидан бири сифатида қайта тикланадиган энергетикани ривожлантириш	196
И.А. Юлдошев, Б.М. Ботиров, А.С. Халимов, Д.М. Пулатова, Ю.М. Курбанов. Траншейн турдаги гелиоиссиқхонанинг иссиқлик режимларини математик моделлаштириш	205
В.В. Елистратов. Кам углеродли ривожланиш соҳасида қайта тикланадиган энергия	

трендлари	215
Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, М.Х. Дехконова. Ўзбекистон республикаси худудида жойлашган метеорологик станцияларнинг қисқача таҳлили	225
M. Zheng, Y. Wang, H.P. Teng. Анъанавий қайта тикланувчи энергетикадан самарали фойдаланиш.	238
ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ	
Ф. Свитала, Ю.М. Галицкова. Энергетика соҳасида дарё суви тезлигидан фойдаланиш	246
М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Н.Э. Каримова. Ўзбекистонда гидроаккумуляцион электр станциялар техник-иқтисодий самарадорлиги.	253
ИЛМИЙ ХАБАРЛАР	
Н.А. Матчанов, М.Х. Хакимов, Ж.Б. Тошов, Н.Н. Далмурадова, М.Х. Дехконова, Э. Абдуллаев. «Яшил энергия» – давр талаби!	264
Ф.Я. Умаров, М.И. Каримов. Кон-металлургия корхоналарини ривожлантиришда инновацион кластерларнинг аҳамияти.	278
ХОТИРА	
Авезов Р.Р. (1942-2021)	286
Абдурахмонов А. (1946-2021)	289
Алимходжаев К.Т. (1945-2021)	292

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

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

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Журнал основан
в 2002 году

Издаётся 4 раза
в год

2021 г. _____ № 2

ТАШКЕНТ - 2021

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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

ТЕПЛО- И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

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

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К.Р. Аллаев. Будущее энергетики – это симбиоз возобновляемых и атомных ресурсов. .	14
А.Д. Таслимов, М.В. Меликузиев. Анализ правил построения оптимальной конфигурации городских распределительных электрических сетей.	33
Т.Ш. Гайибов, Б.А. Узаков. Оптимизация режимов энергосистем с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений.	42
М.Б. Худаяров, Т.А. Икрамов, Н.Н. Нормаматов. Прогнозирование электрической нагрузки на основе нейро-нечётких моделей.	54
Т.Ф. Махмудов. Разработка модели системного стабилизатора на основе метода нечеткой логики и нейронной сети.	65

ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Tyukhov Igor, Okamoto Nicole, Sanchez Jesus, Semahegn Samuel. Внедрение фотоэлектрических основ и практических тем в традиционной инженерной лаборатории	79
Р.Р. Авезов, Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов. Сезонная теплопроизводительность и тепловая эффективность плоских солнечных водонагревательных коллекторов изготовленных из светопрозрачных пластиков с донным поглощением излучения.	87
Л.М. Эшкуватов, Н.Т. Ташбаев, Р.П. Бабаходжаев. Анализ современного состояния эффективности конденсации водяного пара на поверхностях вертикальной трубки и разработка экспериментального стенда.	94

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Ю.В. Даус, Д.А. Десятниченко, И.В. Юдаев. Применение фотоэлектрических установок в системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.	102
М.К. Bobojanov, S.K. Mahmutkhonov, S.S. Aitbaev. Исследование повышения качества электроэнергии в металлургической отрасли.	111
Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев, Г.Ю. Рузикулов. Исследование тепловлажного режима энергосберегающей солнечно-теплонасосной сушильно-холодильной камеры. .	121
О.Р. Сытдыков, А.М. Мирзабаев, Р.А. Ситдилов, О.В. Радионова. Показатель энергетической рентабельности EROEI фотоэлектрических станций в Узбекистане.	130
Р.Ч. Каримов. Усовершенствование схемы регулирования мощности конденсаторных батарей на основе бесконтактных коммутационных устройств.	145

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Н.И. Чернова, С.В. Киселева. Ресурсный потенциал производства биотоплива и сопутствующих продуктов из микроводорослей применительно к Республике Узбекистан	155
Н.Р. Авезова, Р.Р. Авезов, А.У. Вохидов, Э.У. Рахимов, М.А. Куралов, А.Э. Хаитмухамедов. Многопараметрические зависимости для определения коэффициента тепловых потерь плоских солнечных водонагревательных коллекторов в окружающую среду.	167
Д.У. Абдухамидов, А.У. Вохидов, К.Ю. Рашидов, А.Ю. Усманов. Повышение коэффициента тепловой эффективности теплоприемных панелей солнечных коллекторов.	174
О.Ф. Тукфатуллин, Р.А. Муминов, И.А. Рахматуллаев, О.М. Турсункулов, К.А. Джумамуратов. Особенности морфологии микрочастиц пыли, скапливающейся на поверхности фотоэлектрического модуля.	188
О.А. Любчик, Т.Г. Зорина. Развитие возобновляемой энергетики как одно из направлений укрепления энергетической безопасности Республики Беларусь.	196
И.А. Юлдошев, Б.М. Ботиров, А.С. Халимов, Д.М. Пулатова, Ю.М. Курбанов. Математическое моделирование температурного режима гелиотеплицы траншейного типа.	205
В.В. Елистратов. Тренды возобновляемой энергетики в рамках концепции низкоуглеродного развития.	215
Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, М.Х. Дехконова. Краткий анализ	

метеорологических станций, расположенных на территории Республики Узбекистан.	225
М. Zheng, Y. Wang, H.P. Teng. Эффективное использование традиционной возобновляемой энергии.	238
ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИКИ	
Ф. Свитала, Ю.М. Галицкова. Использование водных скоростей рек в энергетике.	246
М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Н.Э. Каримова. Техничко-экономическая эффективность гидроаккумулирующих электростанций в Узбекистане.	253
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ	
Н.А. Матчанов, М.Х. Хакимов, Ж.Б. Тошов, Н.Н. Далмурадова, М.Х. Дехконова, Э. Абдуллаев. «Зеленая энергия» – требование времени!	264
Ф.Я. Умаров, М.И. Каримов. Роль инновационных кластеров в развитии горно-металлургических предприятий.	278
ПОМНИМ И СКОРБИМ	
Авезов Р.Р. (1942-2021)	286
Абдурахманов А. (1946-2021)	289
Алимходжаев К.Т. (1945-2021)	292

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

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

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

**ASSOCIATION OF ALTERNATIVE FUEL AND ENERGY
ENTERPRISES**

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

PROBLEMS OF ENERGY AND SOURCES SAVING

**The magazine founded
in 2002**

**Printed 4 times
a year**

2021 y. ————— №2

TASHKENT - 2021

EDITORIAL COUNCIL

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

EDITORIAL TEAM

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL COLLEGE:

ELECTRIC POWER

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

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

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

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

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

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

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

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

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

ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS OF ENERGY

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

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

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

CONTENTS

ELECTRIC POWER

K.R. Allaev. The future of energy is a symbiosis of renewable and nuclear resources	14
A.D. Taslimov, M.V. Melikuziev. Analysis of the rules for constructing the optimal configuration of urban distribution electrical networks	33
T.Sh. Gayibov, B.A. Uzakov. Optimization of power systems modes taking into account losses in mains and functional limitations	42
M.B. Khudayarov, T.A. Ikramov, N.N. Normamatov. Forecasting of electrical load based on neuro-fuzzy models	54
T.F. Makhmudov. Development a system stabilizer model based on the method of fuzzy logic and neural network	65

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

Tyukhov Igor, Okamoto Nicole, Sanchez Jesus, Semahegn Samuel. Implementation of photovoltaic fundamentals and practical topics into a traditional engineering lab	79
R.R. Avezov, F.Sh. Kasimov, Sh.K. Niyazov. Seasonal heating capacity and thermal efficiency of flat solar water heating collectors made of translucent plastics with bottom radiation absorption	87
L.M. Eshkuvatov, N.T. Tashbaev, R.P. Babakhodjaev. Analysis of the current state of efficiency of water vapor condensation on surfaces vertical tube and development experimental stand	94

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

Yu.V. Daus, D.A. Desyatnichenko, I.V. Yudaev. Application of photoelectric installations in power supply systems for agricultural consumers	102
M.K. Bobojanov, S.K. Mahmutkhonov, S.S. Aitbaev. Research of the issue of improving the power quality in the metallurgical industry	111
G.N. Uzakov, Sh.K. Yakhshiboev, G.Yu. Ruzikulov. Investigation of the heat and humidity regime of an energy-saving solar-heat pump drying and refrigerating chamber	121
O.R. Sitdikov, A.M. Mirzaboev, R.A. Sitdikov, O.V. Radionova. Energy profitability indicator – EROEI of photovoltaic power plants in Uzbekistan	130
R.Ch. Karimov. Improvement of capacitor battery power regulation circuit based on contactless switching devices	145

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

N.I. Chernova, S.V. Kiselova. Resource potential of production of biofuel and related products from microalgae in the republic of Uzbekistan	155
N.R. Avezova, R.R. Avezov, A.U. Vokhidov, E.Yu. Rakhimov, M.A. Kuralov, A.E. Khaitmukhamedov. Multiparametral dependencies for determining of the heat losses coefficient of flat-plate solar water heating collectors into the ambient	167
D.U. Abdukhamidov, A.U. Vokhidov, K.Yu. Rashidov, A.Yu. Usmanov. Increasing the thermal efficiency of heat absorbing panels for solar collectors	174
O.F. Tukfatullin, R.A. Muminov, I.A. Rakhmatullaev, O.M. Tursunkulov, K.A. Djumamuratov. Features of the morphology of microparticles of dust accumulating on the surface of the photovoltaic module	188
O.A. Lyubchik, T.G. Zorina. Development of renewable energy as one of the directions for strengthening energy security in the Republic of Belarus	196
I.A. Yuldoshev, B.M. Botirov, A.S. Halimov, D.M. Pulatova, Yu.M. Kurbanov. Mathematical modeling of the temperature regime of a trench-type helio greenhouse.	205
V.V. Yelistratov. Renewable energy trends within the concept of low-carbon development	215
E.Yu. Rakhimov, N.N. Dalmuradova, M.Kh. Dekhkanova. Brief analysis of meteorological stations located in the territory of the Republic of Uzbekistan.	225
M. Zheng, Y. Wang, H.P. Teng. Effective utilization of traditional renewable energy.	238

ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS OF ENERGY	
F. Svitala, Yu.M. Galiskova. Use of river water speeds in power engineering.	246
M.M. Mukhammadiev, K.S. Dzhuraev, N.E. Karimova. Technical and economic efficiency of pumped storage power plants in Uzbekistan.	253
SCIENTIFIC REPORTS	
N.A Matchanov, M.X.Khakimov, J. B. Toshov, N.N. Dalmuradova, M.Kh. Dekhkonova, E.Abdullayev. «Green energy» – the demand of the age!	264
F.Ya. Umarov, M.I. Karimov. The role of innovation clusters in the development of mining and metallurgical enterprises	278
REMEMBER AND GORGE	
R. Avezov (1942-2021)	286
A. Abdurakhmanov (1946-2021)	289
K. Alimkhodjaev (1945-2021)	292

УДК 620.9

**БУДУЩЕЕ ЭНЕРГЕТИКИ – ЭТО СИМБИОЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
И АТОМНЫХ РЕСУРСОВ****К.Р. Аллаев**

Мақолада 2030-2050 йилларгача жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасида бўладиган ўзгаришлар тўғрисида фикр юритилган. Белгиланган даврда жаҳон миқёсида индустриал жамиятдан юқори технологияларга эга бўлган билим жамиятига ўтилиши кўрсатилган. Шунини айтиши лозимки, индустриал жамият энергияни кўп истеъмол қилувчи бўлса, билимга асосланган жамият чуқур ва самарадорли технологияларга асосланиб, иқтисодий-ижтимоий, маънавий ривожланади ва энергияни оптимал истеъмол қилиш базасида ривожланади.

Шу билан бирга жаҳон бўйича, энергия истеъмоли йилдан йилга ошиб боради, чунки аҳоли сонининг ошиб бориши ва яшаш фаровонлиги ривожланишида давом этади. Албатта, энергия истеъмолининг ошиб бориши янги, самарадор технологияларга асосланиши зарур ва бу ўсиши экологик талабларга жавоб бериши, анъанавий ёқилгиларни ёқмасдан, кам углеводородли ёқилги манбаларидан фойдаланилган ҳолдагина амалга оширилиши зарурлиги кўрсатилган. Булар қаторига қайта тикланувчи энергия ва атом энергиялари қиради. Чунки улар кам углеводородли ҳимобланади. Бугунги этизимдаги янги даврга ўтиши жарёнида энергия самарадорлиги ва энергия сарфини камайтириши технологияларидан тўлиқ фойдаланиши зарур. Натижада, экологик вазият яхшиланади, Париж Келишув талабларининг бажарилиши таъминланади.

Жаҳон энергетикаси шиддат билан ўзгармоқда. Анъанавий энергетика, яъни бир-қанча катта қувватли станцияларга, юқори кучланишли ҳаво электр узатиши линияларига эга бўлган, марказлашган тақсимловчи энерготизимлар ўз аҳамиятини борган сари йўқотмоқда ва уларнинг ўрнини тарқатилган, ихчам энергия манбалари эгалламоқда. Ваҳоланки бу ахвол, яъни экологик маънога эга бўлган энерготизим – ҳудуд бўйича кўплаб тарқалган қайта тикланувчи энергия манбалари ва атом электр станциялари асосида ташиқ қилинган энергетик тизим, бутунлай янги қонун-қоидалар ва принциплар асосида бошқаралиши шарт.

Мақолада жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасининг қайта тикланувчи ва атом энергия ресурслари асосида ривожланиши истиқболлари, инвестиция масалалари ва бу энергия манбалари иштирокида яратиладиган энергетик тизим сарфлари кўрсатилган.

Жахон ва Ўзбекистоннинг қайта тикланувчи ва атом энергияси асосида узоқ муддатли истиқболли ривожланиши асосида, XXI асрнинг ўрталари ва кейинчалик углерод-нейтрал энергетика асослари ташиқ қилиниши мумкинлиги кўрсатилган.

В статье приведены данные по трансформации энергетики мира и Узбекистана до 2030-2050 годов. Показано, что Мир в XXI веке переживает период перехода от индустриального общества, с характерными для него большими затратами энергии, к обществу знаний с высокоразвитыми технологиями, глубокой экономической, социальной и духовной перестройкой жизни, обеспечивающей сбалансированное и устойчивое развитие. При этом энергопотребление в мире будет неуклонно расти в связи с ростом населения и улучшением социальных условий. Отмечено, что значительный рост мирового потребления энергоресурсов должен обеспечиваться применением принципиально новых высокоэффективных технологий, основанных на экологических критериях, а также использованием технологий, не связанных со сжиганием органического топлива; максимальным использованием возобновляемых, и атомных источников энергии, при резком повышении эффективности энергопотребления за счет энергосбережения, и выполнении задач Парижского Соглашения по климату.

Показано, что мировая энергетика преобразуется, трансформируется весьма динамично. Уходит в прошлое классическая энергосистема, объединяющая несколько крупных электростанций и централизованную систему передающих и распределительных сетей. При этом переход к новой системе экологичного энергоснабжения: с использованием большого количества возобновляемых источников в комбинации с атомными электростанциями, необходимыми для обеспечения стабильного электроснабжения, требует совершенно иного подхода.

Рассмотрены перспективы развития возобновляемых и атомных источников энергоресурсов в мире и Узбекистане, вопросы инвестиций и системных затрат при их различной доле участия в выработке электроэнергии.

Показано, что в долгосрочной перспективе, на основе симбиоза возобновляемо-атомной энергетики к середине XXI века и далее, в мировой экономике и экономике Узбекистана могут быть сформированы условия для углеродно-нейтральной энергетики.

The article provides data on the transformation of the energy sector in the world and Uzbekistan until 2030-2050. It is shown that the world in the 21st century is going through a period of transition from an industrial society, with its characteristic high energy consumption, to a knowledge society with highly developed technologies, deep economic, social and spiritual restructur-

ing of society's life, ensuring its balanced and sustainable development. At the same time, energy consumption in the world will grow steadily, due to population growth and improvement of social conditions. It is noted that a significant increase in world energy consumption should be ensured by the use of fundamentally new highly efficient technologies based on environmental criteria, as well as technologies that are not associated with the combustion of fossil fuels, the maximum use of renewable, nuclear energy sources and be accompanied by a sharp increase in energy efficiency due to energy conservation, with fulfilling the objectives of the Paris Agreement on Climate

It is shown that the world energy is transforming, transforming very dynamically. The classic power system, uniting several large power plants and a centralized system of transmission and distribution networks, is becoming a thing of the past. At the same time, the transition to a new system of environmentally friendly energy supply using a large number of renewable sources in combination with nuclear power plants necessary to ensure a stable electricity supply requires a completely different approach.

The prospects for the development of renewable and nuclear sources of energy resources in the world and in Uzbekistan, the issues of investments and system costs with their different share in the generation of electricity are considered.

It is shown that in the long term, based on the symbiosis of renewable nuclear energy, by the middle of the 21st century and beyond, conditions for carbon-neutral energy can be formed in the world energy and energy sector of Uzbekistan.

Мировая энергетика. Мир в XXI веке переживает период перехода от индустриального общества, с характерными для него большими затратами энергии, к обществу знаний с высокоразвитыми технологиями, глубокой экономической, социальной и духовной перестройкой жизни общества, обеспечивающими сбалансированное и устойчивое его развитие. При этом в мире энергопотребление будет неуклонно расти, в связи с ростом населения и улучшением социальных условий. Потребление энергоресурсов в мире, по сравнению с 2000 годом, к 2030 году увеличится в 1,5 раза, к 2050 году более чем в 2 раза, а потребление электроэнергии в эти же периоды – в 2 раза и более чем в 3 раза, соответственно [1].

Мировая энергетика преобразуется, трансформируется весьма динамично. Уходит в прошлое классическая энергосистема, объединяющая несколько крупных электростанций и централизованную систему передающих и распределительных сетей. При этом переход к новой системе экологичного энергоснабжения с использованием большого количества возобновляемых источников в комбинации с накопителями энергии и крупными электростанциями, которые, все еще необходимы для обеспе-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

чения стабильного электроснабжения, требует совершенно иного подхода [1].

Ключевыми характеристиками трансформации (перехода) мировой энергетики являются глобализация, интеллектуализация, цифровизация, децентрализация, декарбонизация, при повышении эффективности производства, передачи и потребления энергии [1].

В табл.1 приведена мировая потребность в первичной энергии по видам топлива.

Таблица 1

Мировая потребность в первичной энергии по видам топлива [2]

Годы Энерго- носитель	2015		2020		2030		2040	
	млрд. т.н.э.	%	млрд. т.н.э.	%	млрд. т.н.э.	%	млрд. т.н.э.	%
Нефть	4,19	31,5	4,53	31,4	4,80	29,5	4,92	27,8
Уголь	3,73	28,1	3,84	26,7	3,98	24,5	3,93	22,2
Газ	2,88	21,7	3,21	22,3	3,84	23,6	4,43	25,0
АЭС	0,65	4,9	0,75	5,2	0,94	5,8	1,09	6,2
ГЭС	0,33	2,5	0,36	2,5	0,42	2,6	0,48	2,7
Биомасса	1,31	9,8	1,41	9,8	1,58	9,7	1,72	9,7
Др. ВИЭ	0,19	1,4	0,32	2,2	0,69	4,3	1,12	6,3
Мир	13,28	100	14,42	100	16,25	100	17,69	100

Такие экологические угрозы, как парниковый эффект и необратимое изменение климата, истощение озонового слоя, кислотные дожди (осадки), сокращение биологического разнообразия, увеличение содержания токсичных веществ в окружающей среде, требуют новую стратегию развития человечества, предусматривающую согласованное функционирование экономики, промышленности и экосистемы. Учитывая сложившееся в мире положение по обеспечению устойчивого развития человечества, под руководством Организации Объединенных Наций разработаны Цели устойчивого развития (ЦУР) [3].

Цели устойчивого развития и Парижское Соглашение. Цели в области устойчивого развития (ЦУР) (Sustainable Development Goals - SDGs) – набор целей для будущего международного сотрудничества, которые заменили собой Цели развития тысячелетия (25.09.2015). Этих целей планируется достигать с 2015 по 2030 годы. Итоговый документ «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» (Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development) содержит 17 глобальных целей и 169 соответствующих задач. Цель 7 сформулирована так: «Обеспечение доступа к

недорогостоящим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех» [4-6].

Парижское соглашение было принято всеми 196 сторонами Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКООНИК) на 21-й Конференции сторон РКООНИК, прошедшей в Париже 12 декабря 2015 года. В этом Соглашении все страны обязуются принять меры к тому, чтобы повышение общемировой температуры к 2050 году составило менее 2°C, а с учетом серьезности существующих рисков - стремиться ограничить рост температуры уровнем до 1,5°C. По состоянию на 01.03.2021 года, Парижское соглашение по климату было ратифицировано 191 сторонами и 168 сторон предоставило свои национальные планы Секретариату РКООНИК [6,7].

Для выполнения решений Парижского Соглашения требуется изменить топливный баланс мировой энергетики — к 2050 году необходимо добиться чтобы безуглеродные источники занимали в нем не менее 50%. Увеличение доли атомной генерации до 25% позволит гарантировать не только это соотношение, но и обеспечит потребителей надежной генерацией [8].

Из традиционных источников электроэнергии только атомная энергия и гидроэнергетика не выделяют парниковых газов. Это преимущество низкоуглеродного производства электроэнергии может весьма эффективно сочетаться и усиливаться при наличии в составе энергосистемы также переменных ВИЭ (СЭС, ВЭС и др.) и соответственно, отвечать требованиям Парижского Соглашения. Глобальное развертывание ядерной энергии и технологий CCS (улавливание и захоронение CO₂) значительно отстает от темпов, предусмотренных сценариями ограничения глобального потепления до 2°C. Обе технологии сталкиваются с рядом проблем на пути к более широкому внедрению, включая высокие затраты на строительство и др.

Возобновляемая энергетика мира. К 2050 году стоимость строительства средней солнечной электростанции упадет на 71 % (по сравнению с нынешней), а стоимость строительства ветроэлектростанции – на 58 %. При этом их строительство уже сегодня обходится значительно дешевле, чем новые угольные и газовые электростанции [9].

В Европе к 2050 году доля ВИЭ в энергобалансе составит 87 %. Флагманами этих изменений станут Германия и Великобритания: в первой доля ВИЭ достигнет 70 % уже к 2025 году, в свою очередь угольная и газовая генерации там упадут до 29 %, а атомные электростанции будут вовсе выведены из эксплуатации. К 2050 году в Германии ВИЭ займут 84 % (из них 74 % – солнечные и ветроэлектростанции). В Великобритании к 2025 году планируется закрыть все угольные электростанции, и к 2030 году доля ископаемого топлива в энергобалансе сократится до 12 % [9].

Необходимо отметить, что у солнечной и ветровой энергии главная проблема – нестабильность. Поэтому в литературе используется термин - переменная возобновляемая энергетика (variable renewable energy - VRE). Аккумулирование энергии сильно удорожает ее стоимость. В то же время выработка энергии тепло- или атомной электростанцией постоянна и легко регулируется [10]. Поэтому при выборе источников энергии на долгосрочную перспективу необходимо решить вопрос диверсификации энергобаланса. По всей видимости равномерный, диверсифицированный состав энергоносителей, примерно по 20% каждый (нефть, газ, уголь, ВИЭ, атом), является оптимальным. Данное сочетание энергоносителей рекомендует, например, Мировой Энергетический Совет, об этом также было отмечено в [11].

На рис. 1 приведен прогноз роста установленных мощностей ВИЭ в мире.

ГВт

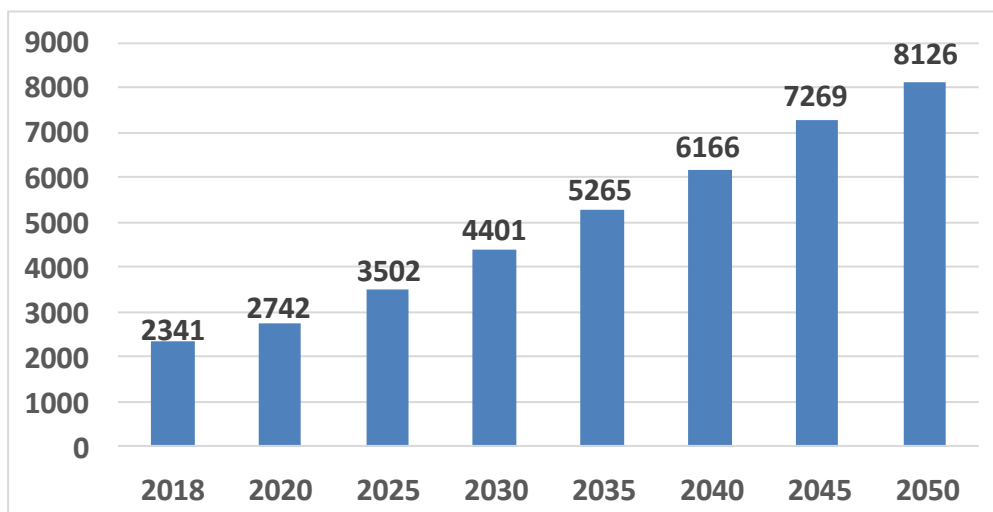


Рис.1. Прогноз роста установленных мощностей ВИЭ в мире [12]

Глобальная средняя расчётная себестоимость производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла источника (LCOE) для разных стран и видов ВИЭ может сильно отличаться. Но тенденция изменения проявляется. В 2018 году глобальный средневзвешенный LCOE для гидроэнергетики составил 47 долл/МВт*ч, ветроэнергетики - 56 долл/МВт*ч, биоэлектричества - 62 долл/МВт*ч. Для традиционных станций величина глобального средневзвешенного LCOE находится в диапазоне (49-174) долл/МВт*ч [13]. Процесс снижения LCOE продолжается.

На рис. 2 приведена динамика прогноза снижения затрат на ветровую и солнечную энергию.

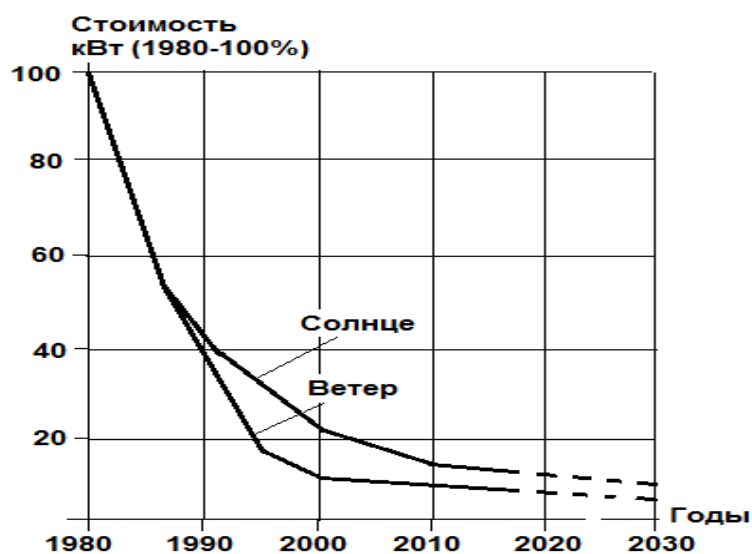


Рис.2. Динамика снижения затрат на ветровую и солнечную энергию [14]

Возобновляемая энергетика продолжит устойчивый рост, и к 2050 году она привлечет порядка 11,5 триллионов долларов инвестиций по всему миру, при этом 8,4 триллиона из них придется на долю солнечной и ветровой энергетики [9].

На рис.3 приведена динамика развития инвестиций в мировые ВИЭ.

Млрд. долл.

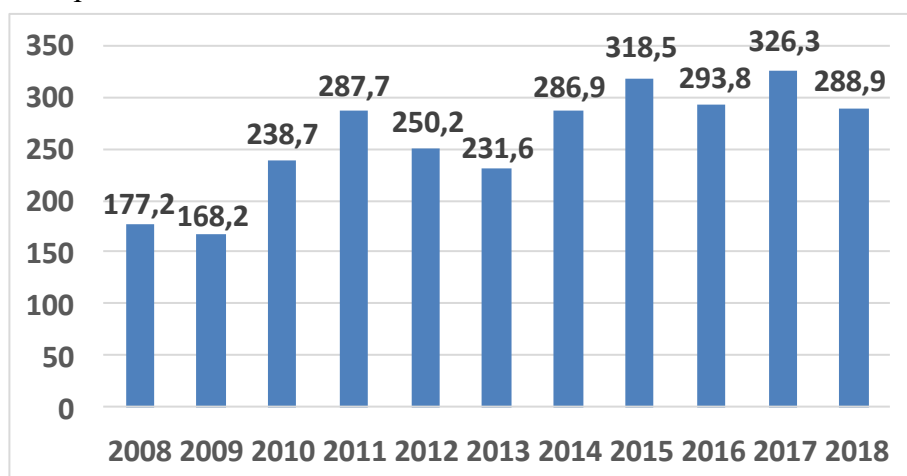


Рис.3. Динамика инвестиций в развитие ВИЭ в мире [13]

В работе [15] исследуется влияние развертывания переменных возобновляемых источников энергии на факторы нагрузки и прибыльность управляемых технологий в краткосрочной перспективе, а также на их оптимальные мощности в долгосрочной перспективе.

На рис.4. приведена сравнительная структура источников для выработки электроэнергии в мире.

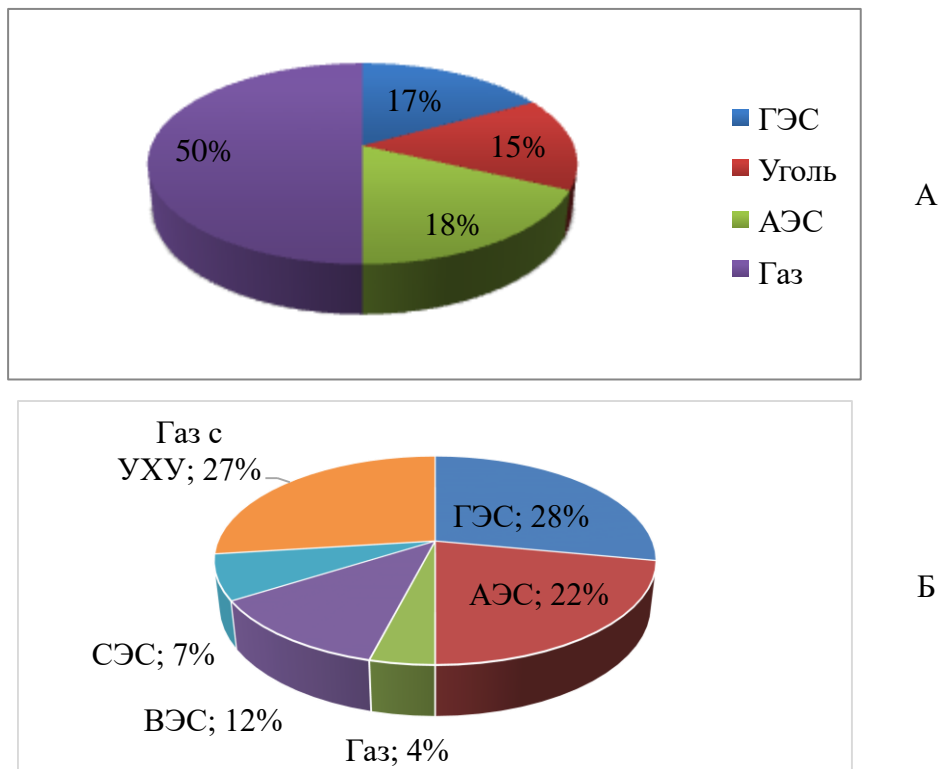


Рис.4. Структура источников для выработки электроэнергии в мире, % [16]: А – 2010 год (21300 ТВт*ч), Б – 2050 год (42000 ТВт*ч). УХУ – технология улавливания и захоронения углерода

Атомная энергетика мира. Очевидно, что атомная энергетика не является возобновляемой. Однако например, в Китае атомную энергетику относят к возобновляемой. Это объясняется тем, что АЭС не имеет углеродного следа и перспективностью развития технологий ее применения – реакторы III+, IV и высших поколений сами себя могут обеспечить топливом - переработанным ураном [19,21].

В 2020 году ядерная энергия обеспечила около 11% выработки электроэнергии во всем мире. По состоянию на 01.01.2021 года в 30 странах действовали 453 ядерных реактора общей мощностью более 397 ГВт (после восстановления отключенных реакторов). Из них большинство уста-

новленных реакторов расположены в развитых странах Европы, Азии и Северной Америки, причем США и Франция имеют мощности около 100 ГВт и 63 ГВт, соответственно [2].

За последние 40 лет доля реакторов с высокими коэффициентами использования установленной мощности (КИУМ) значительно увеличилась. Например, в настоящее время 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 [18].

На рис. 5 приведен прогноз установленной суммарной мощности АЭС мира и Китая.

Суммарная
мощность АЭС, ГВт

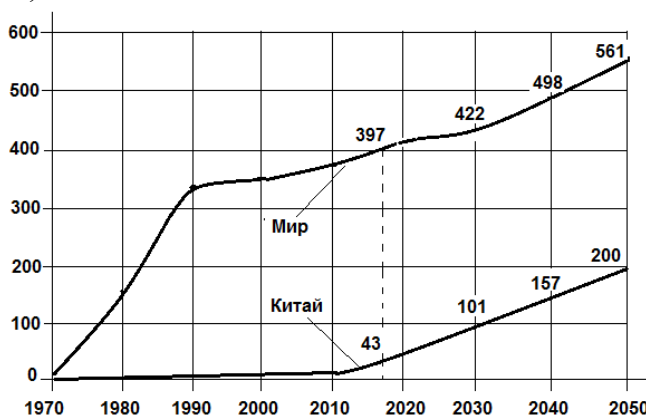


Рис. 5. Прогноз установленной суммарной мощности АЭС мира и Китая [19]

В создании ядерной энергетики заинтересованы 28 стран. В 15 из 30 стран, уже эксплуатирующих атомные электростанции, сооружаются новые энергоблоки, либо активно завершается сооружение ранее приостановленных объектов, а в 16 странах имеются планы или предложения в отношении строительства новых реакторов [20].

На рис. 6 приведен прогноз динамики выработки электроэнергии на АЭС мира.

Основными драйверами развития атомной энергетики в мире становятся развивающиеся страны, в первую очередь Китай, Индия, а также страны, имеющие ограниченные запасы ископаемых энергоресурсов и программы замещения угольных энерготехнологий на чистые [1].

Из приведенных на рис. 6. данных видно, что выработка электроэнергии к 2050 году на АЭС мира, при базовом варианте развития, увели-

чится с 2,63 (2016) до 3,35 трлн. кВт*ч (2050), т.е. на 27%, а при оптимистичном варианте развития-до 4,4 трлн. кВт*ч, т.е на 67% [21].

Отмечается [2], что капитальные затраты на новые атомные электростанции выше, по сравнению с другими технологиями производства электроэнергии, включая ветровую и солнечную [22].

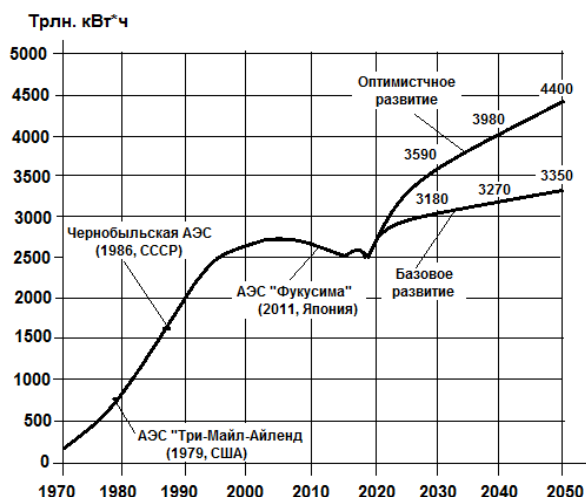


Рис. 6. Прогноз динамики выработки электроэнергии на АЭС мира [21]

Однако в этом случае на атомных электростанциях затраты на топливо (3-5) раз ниже, чем на других типах электростанций. Например, в США в 2018 году затраты на топливо для атомных электростанций составляли 0,0077 долл/кВт*ч и (21% от переменных затрат), по сравнению с 0,0294 долл/кВт*ч для парогазовых установок (75% переменных затрат) и 0,0371 долл/кВт*ч для газовой турбины (87%) [23].

Сроки эксплуатации многих действующих ядерных энергоблоков продлеваются, как правило, с 40 до 60 лет. Из существующих 453 блоков 5 % эксплуатируются уже более 40 лет, и к 2040 г. предстоит вывод из эксплуатации около 30 % действующих в настоящее время атомных электрических станций [24].

Всемирной Ядерной Ассоциацией (ВЯА, World Nuclear Association - WNA) подготовлена программа «Гармония» («Harmony») – концепция генерации электроэнергии в будущем. Для реализации программы «Гармония» ВЯА установила следующий целевой показатель: к 2050 году 25% электроэнергии во всем мире должно вырабатываться на АЭС, 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.) [20].

С инженерной точки зрения программа «Гармония» вполне реализуема. При этом рекомендуется, что с 2016 по 2020 годы нужно ежегодно

вводить по 10 ГВт атомной генерации, 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» [23].

На рис 7. приведен предполагаемый график ввода новых атомных энергоблоков в мире для достижения целей программы «Гармония».

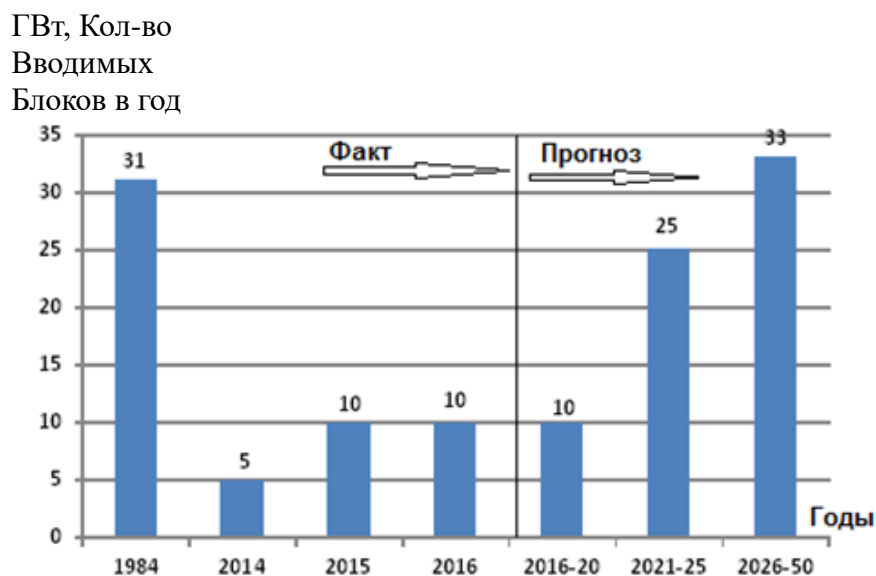


Рис.7. Темпы ввода новых атомных энергоблоков в мире, необходимые для достижения целей программы «Гармония» [24]

Руководство ВЯА считает, что если мировая атомная отрасль более 30 лет назад, т.е. в 1984 году, за один год смогла ввести в эксплуатацию атомные энергоблоки общей мощностью 31 ГВт [25], то предлагаемый темп строительства вполне достижим и теперь. Базовое условие для реализации программы - парадигма безопасности, отступление от которой недопустимо ни при каких обстоятельствах [24]. Например, анализ показывает, что для решения этой задачи на базе самого современного реактора ВВЭР-1200, за оставшиеся 30 лет их нужно построить 833 [25].

Атомная энергетика будущего – это замкнутый ядерный топливный цикл реакторов на быстрых нейтронах [26,27]. Только замкнутый ядерный топливный цикл и реакторы на быстрых нейтронах на столетия могут безопасно обеспечивать мир энергией [28].

Самые новые, самые безопасные реакторы — те, которые относятся к поколению III+. Проектов таких реакторов сейчас четыре — российский ВВЭР-1200, французский EPR-1600, американский AP-1000 и китайский Hualong-1 [25].

Крупная атомная электростанция может потребовать увеличения мощности имеющихся резервов с учетом отключения АЭС. Системные затраты при этом могут находиться в диапазоне (2-3) долл/МВт*ч, что немного выше, чем у других технологий производства электроэнергии (ТЭС, ГЭС), но намного ниже, чем у переменных возобновляемых источников энергии (СЭС и ВЭС) [29,43].

На рис. 8 приведены системные издержки для различных технологий с учётом доли их участия в производстве электроэнергии.

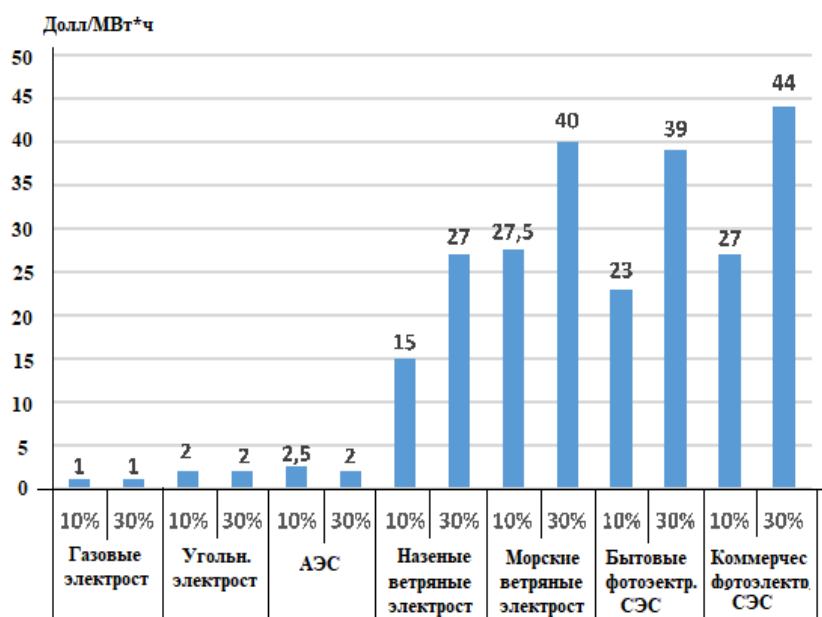


Рис.8. Суммарные системные издержки различных технологий производства электроэнергии

Новые атомные электростанции могут работать на уровне мощности всего 25% от их номинальной мощности, а большинство старых проектов не могут эксплуатироваться ниже 50% от их номинальной мощности.

Энергетика Узбекистана. В стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах, утвержденным Президентом Республики Узбекистан Ш.М. Мирзиёевым, нашли свое отражение конкретные меры по дальнейшему углублению и обеспечению эффективности демократических реформ и отраслей экономики в стране. Одним из таких направлений является энергетика [1]. Поэтому вопросы развития энергетики всегда находятся в центре внимания руководства республики, и они решаются последовательно [30-35, 42] и др.

Энергетика Узбекистана, в том числе электроэнергетика, относится к развитым не только в СНГ, но и в мире.

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

Решение таких задач особенно важно, если Узбекистан ставит перед собой амбициозные цели: добиться экономического прорыва, и к 2030 году войти в число 50 передовых стран мира [36]. Невозобновляемые природные ресурсы Узбекистана, к сожалению, сокращаются. Пока снижение добычи нефти в значительной степени компенсируется за счет добычи природного газа, но его запасы также не бесконечны. По данным АО «Узбекнефтегаз» текущих запасов природного газа хватит на 20-30 лет [1].

Сейчас ежегодная потребность Узбекистана в электроэнергии составляет 69 миллиардов кВт*час, а вырабатывается порядка 64 миллиардов кВт*ч. Почти 89% энергии генерируется за счет сжигания газа и угля, а оставшиеся около 10% - производят гидроэлектростанции [36]. На ТЭС Узбекистана ежегодно расходуется 16,5 млрд. м³ природного газа, 86 тысяч тонн мазута и 2,3 млн. тонн угля [41].

Перед энергетиками Узбекистана поставлены грандиозные задачи – к 2030 году довести выработку электроэнергии до 120 млрд. кВт*ч, что в два раза больше, чем выработка электроэнергии в 2019 году – 67 млрд. кВт*ч и уменьшить условный расход топлива на выработку единицы электроэнергии. По состоянию на 01.01.2021 года установленная мощность электрических станций электроэнергетической системы Узбекистана составляла более 15,1 ГВт. В состав энергосистемы Узбекистана входят 11 тепловых электростанций суммарной установленной мощностью более 13 МВт и 28 гидравлических электростанций мощностью 1439 МВт.

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

Возникает ряд режимных особенностей, которые должны быть учтены при внедрении ВИЭ таких объемов в энергосистему Узбекистана. Режим тепловых электростанций существенно усложняется, что может привести к ускоренному износу теплотехнического оборудования и возможным авариям. Это связано с тем, что обеспечение приема электроэнергии, вырабатываемого ВИЭ, осуществляется путем разгрузки тепловых станций на величину свыше 3300 МВт, а для покрытия нагрузки в часы вечернего максимума – увеличением на 5000 МВт. Оборудование ТЭС на такой переменной режим работы не рассчитано, они должны работать с постоянной мощностью, т.е. в базе графика нагрузки. Тем более, если

это касается агрегатов АЭС [1]. Поэтому необходимо предпринять меры режимного характера по выравниванию суточного графика нагрузки системы и обеспечению равномерной загрузки ТЭС и АЭС, при наличии в энергосистеме ВИЭ.

Перед Узбекистаном стоит важнейший вызов – реализация политики форсированного индустриального развития. И без развития энергетики переход от аграрно-индустриального к индустриально-инновационному укладу вряд ли возможен. При этом у нашей страны есть неплохие возможности за более короткий срок пройти тот путь, который другие проходят за десятилетия. Ключевым моментом этой стратегии ускоренного роста энерго мощностей станет строительство атомной электростанции в стране [36].

В Узбекистане, впервые в регионе Центральной Азии, к 2030 году планируется завершить строительство атомной электростанции суммарной мощностью 2400 МВт, с двумя агрегатами ВВЭР-1200 поколения «3+», мощностью 1200 МВт каждый. Данный факт обеспечит Узбекистан недорогой электроэнергией и даст толчок развитию науки и образования, в таких направлениях, как фундаментальные науки, традиционная и ядерная энергетика, химическая промышленность, машиностроение, строительство и других. Агрегаты ВВЭР - 1200 отвечают всем требованиям по безопасности Международного агентства по атомной энергии - МАГАТЭ. Необходимо отметить, что в Узбекистане продолжает функционировать исследовательский атомный реактор ВВР-СМ мощностью 10 МВт НИИ ядерной физики, что показывает наличие научного и кадрового потенциала для развития и использования атомной энергии в стране в мирных целях.

Еще одной важной причиной строительства АЭС в Узбекистане является наличие в стране урановых рудников [37, 38].

АЭС позволит переориентировать газ на экспорт или глубокую переработку и увеличить дополнительные поступления в бюджет страны [36]. Сдача первого блока в эксплуатацию запланирована к 2028 году. В результате запуска станции Узбекистан будет ежегодно экономить 3,7 млрд. м³ природного газа. Даже если экспортировать сэкономленный газ без его переработки, в Узбекистан будет поступать 550–600 миллионов долларов в год [39]. Каждый доллар, инвестированный в строительство атомной станции, взамен дает порядка 6 долларов: 2 долларов местным поставщикам и около 4 долларов в ВВП страны. Это очень выгодно для Узбекистана, который имеет свои углеводороды и может от сэкономленных природных ресурсов получить гораздо больше выгоду [40].

Одновременно АЭС позволяет вырабатывать электроэнергию по более низкой себестоимости, по сравнению с другими источниками энергии. Так, в углеводородной генерации доля себестоимости сырья составляет более (60 - 70)%; это значит, что цена на электроэнергию напрямую зави-

сит от цен на углеводороды. В атомной генерации на долю себестоимости урана приходится всего (4-5)%, таким образом, колебание цен на сырье практически не влияет на конечную стоимость электроэнергии, что обеспечивает предсказуемость тарифной политики на длительный срок. И в перспективе нескольких десятилетий атомная энергетика становится значительно экономичнее по сравнению с традиционной [36].

На рис. 9 показаны ожидаемые результаты реализации параметров Концепции обеспечения электроэнергией Республики Узбекистан [44].

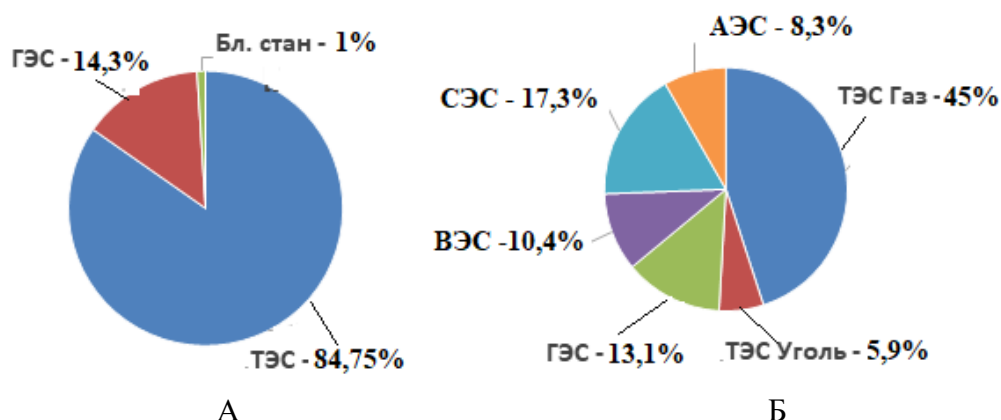


Рис.9. Установленные мощности энергосистемы Узбекистана [46]:
А – 2019 год, суммарная мощность – 12,9 ГВт; Б – 2030 год, 29,2 ГВт

В заключении можно отметить, что будущее энергетики мира и Узбекистана – это совместное применение (симбиоз) таких перспективных источников энергии, как солнечная, ветровая, атомная и водородная, с перспективой перехода к термоядерной энергетике.

В долгосрочной перспективе на основе симбиоза возобновляемо-атомной энергетики к середине XXI века и далее, в мировой и энергетике Узбекистана могут быть сформированы условия для углеродно-нейтральной энергетики и выполнения задачи Парижского Соглашения.

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

Литература

1. 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.
2. World Oil Outlook 2040. ОПЕС, Vienna, Austria, 2018, 412 p. (www.opec.org).
3. Цели устойчивого развития. ([https://ru.wikipedia.org/wiki/ Цели_устойчивого_развития](https://ru.wikipedia.org/wiki/Цели_устойчивого_развития)).
4. World Energy Outlook 2018 examines future patterns of global energy system at a time of increasing uncertainties. <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/november/world-energy-outlook-2018-examines-future-patterns-of-global-energy-system-at-a-t.html>.
5. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по стабильному обеспечению экономики и населения энергоресурсами, финансовому оздоровлению и совершенствованию системы управления нефтегазовой отраслью», № ПП-4388 от 9 июля 2019 года.
6. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda (Working draft). Sustainable Development Knowledge Platform. United Nations (19 March 2015).
7. Марцинкевич Б. Атомная «Гармония» поможет Парижскому соглашению по климату: АЭС остановят глобальное потепление. (<http://geoenergetics.ru/2018/10/17/atomnaya-garmoniya-pomozhetparizhskomu-soglasheniyu-po-klimatu/>).
8. Марцинкевич Б. Атомная энергетика стремится к «Гармонии». (<https://regnum.ru/news/economy/2507931.html>. 25.10.2018).
9. Прогноз до 2050 года от Bloomberg показывает, что ВИЭ привлекут 11,5 триллионов долларов инвестиций; ([https:// www.windpower.20.08.2018](https://www.windpower.20.08.2018)).
10. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. – СПб: Наука и техника. 2014. - 320 с.
11. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Аналитический обзор. - Т. 2006, - 380 с.
12. Тенденции развития энергетике 2018-2050 гг. ([https://www.sites.google.com/a/ eeseaec.org/eeseaec/energetika-stranmira/ieo-2019-tendencii-razvitiia](https://www.sites.google.com/a/eeseaec.org/eeseaec/energetika-stranmira/ieo-2019-tendencii-razvitiia)).
13. Renewables 2019 global status report. Paris: REN21. 2019. 336 p.
14. Mark P. Mills. The real fuel of the future: natural gas.US.2018.20 p.

15. Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems. Paris. Nuclear Energy Agency. 2012 № 7056.ECD.255 p.
16. Яшалова Н.Н., Крылова Н.П., Левашов Е.Н. Зарубежный и отечественный опыт и перспективы развития низкоуглеродных городов. DOI: 10.17213/2312-6469-2020-3-239-257. Друкеровский вестник. 2020. - № 3. - С. 239-257.
17. Зубарев В. Насколько велика атомная энергетика России? (<https://www.factograph.info/a/29157120.html.10.04.2018>).
18. Nuclear Power in the World Today (Updated January 2019). (<http://www.world-nuclear.>).
19. 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.
20. Международное состояние и перспективы ядерной энергетике – 2017. (http://minenergo.gov.by/o_ministerstve/yadernaya_energetika/mezhdunarodnoe-sostojanie-i-perspektivy-jadernoj-jenergetiki-2017/).
21. Нигматулин Б.И. Прогноз мирового электропроизводства на АЭС на период до 2050 г. (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7390>).
22. Z. Long. Economics of Nuclear Power as an Energy Source. Physics 241, Stanford University, Winter 2016.
23. Kalvin Wang. Nuclear Power Economic Costs. May 4, 2018. (<http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/wang-k2/>).
24. Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М. Мировая атомная энергетика: итоги и перспективы. Минск. Национальная академия наук Беларуси. / Информационный бюллетень. Серия: атомная энергетика. 2017. №1.
25. Марцинкевич Б. Мировому энергетическому атомному проекту нужен темп. (<https://regnum.ru/news/economy/2511236.html.31.10.2018>).
26. Ульянин Ю. А., Харитонов В. В., Юршина Д. Ю. Проблемы прогнозирования ядерной энергетике. // Известия вузов. Энергетика. 2018. - № 2. - С. 60–71.
27. Морозова А. Уральские ученые создают ядерную энергетике будущего. Чистую и безопасную. (https://66.ru/news/hitech/226547/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com.03.12.2019).
28. Последняя надежда человечества - Замкнутый Ядерный Топливный Цикл! (<https://zen.yandex.ru/media/dbk/posledniaia-nadejdachelovechestva-zamknutyi-iadernyi-toplivnyi-cikl-5df166c634808200af962aad.13.12.2019>).

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

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

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

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

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

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

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

36. Исаев Т. Выгодно или бесперспективно: зачем Узбекистану нужна атомная электростанция. (<https://centrasia.org/disc.php?st=1552627080>. 15.03.2019).

37. Атомный Айдаркуль. (<http://www.centrasia.ru/newsA.php?st=1524258780>. 21.04.2018).

38. Глава «Узатома» раскрыл секреты первой АЭС в Узбекистане (<https://news.mail.ru/economics/36249218/?frommail=1.22.12.2018>).

39. Узбекистан начнет строительство АЭС не ранее 2022 года. (<https://news.mail.ru/economics/36249218/?frommail=1.08.02.2019>).

40. Исаев Т. Ядреный оптимизм. Каждый доллар, вложенный в АЭС, принесет Узбекистану 6 долларов взамен. (<https://centrasia.org/news.php?st=1555439640>. 16.04.2019).

41. Эксперт из Узбекистана о безопасности АЭС для региона. (<https://nuz.uz/intervyu/35771-ekspert-iz-uzbekistana-o-bezopasnosti-aes-dlyaregiona.html/22.09.2018>).

42. Постановление Президента Республики Узбекистан от 09.04.2021 года №ПП-5063 «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан».

43. Полные затраты на производство электроэнергии. Агентство по ядерной энергии, № 7298. ОЭСР. Париж. 2018. 215 с. (www.oecd-nea.org).

44. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы. Утверждено приказом №70 Министра энергетики Республики Узбекистан от 28.04.2020 г.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

**ШАҲАР ТАҚСИМЛОВЧИ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИНИНГ
ОПТИМАЛ КОНФИГУРАЦИЯСИНИ АНИҚЛАШ ҚОИДАЛАРИ
ТАҲЛИЛИ****А.Д. Таслимов, М.В. Мелиқўзиев**

Мақолада шаҳар тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал конфигурациясини қуриш қоидалари мавжуд усулларни таҳлил қилиш асосида аниқланган. Аниқланган конфигурация бўйича барча шаҳар тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал ҳолатини қуриш мумкин. Шаҳар тақсимловчи электр тармоқларини қуриш масалалари ҳозирги кунда долзарб ҳисобланади. Шаҳар ҳудудида электр энергия истеъмолчилари сони ва қувватининг ортиши ҳудуд бўйича оптимал конфигурацияни қуриш қоидаларини такомиллаштиришни талаб этмоқда. Шаҳар ҳудудида тармоқ элементларининг жойлашуви электр тармоқларида бўладиган техник-иқтисодий кўрсаткичларга таъсир этади. Ушбу элементларнинг параметрларини тўғри танлаш эса оптимал конфигурацияни қуриш қоидаларини таҳлил қилишни талаб этади.

Юқорида кўрсатилгандек, шаҳар тақсимловчи электр тармоғининг параметрларини танлаш, бундай тармоқнинг идеал тузилмасига нисбатан оптимал таҳлили (ишлаб чиқилган тамойиллар ва оптимал қуриш алгоритмлари) натижалари асосида амалга оширилади. Мисол учун, асосий параметрлар (ўрта ва 1000 В гача бўлган кучланишли тармоқ кабелларининг кесим юзалари, трансформатор подстанция ва таъминот манбаси дан чиқувчи линиялар сони) бизга маълум. Яъни, ушбу параметрлар электр юкламаларининг зичлиги бир хил бўлган ҳудудлар учун доимийдир.

Бундай шароитда тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал конфигурацияси, тармоқ умумий узунлигининг минимумига ва ҳар бир номинал кучланишга жавоб бериши керак. Шунингдек, умумий харажатларнинг минимумига мос келиши керак. Агар ҳар бир линиянинг оптимал юкламаси тахминан бир хил (берилган кучланишда) бўлса, бу ҳолат тармоқлар учун умумий харажатларнинг минимумига ҳам мос келади.

Оптимал конфигурацияни аниқлашнинг мураккаблиги (кўп чизикли, кўп уланишли ва бир қатор чегараланишларнинг мавжудлиги), қўйилган вазифанинг ўзига хос хусусиятлари, энг кўп ҳосил қилувчи ярим “эвристик” алгоритмларни тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқишни талаб этади. Дастурлаш асосида кабель линияси узунлигини минималга келтириш модели таклиф этилган.

В статье предлагаются правила построения оптимальной конфигурации городских распределительных электрических сетей путем анализа существующих методов. По выявленной конфигурации можно определить оптимальное состояние всех городских распределительных электрических сетей. Вопросы строительства городских распределительных электрических сетей в настоящее время являются актуальными. Увеличение количества и мощности электропотребителей на территории города требует совершенствования правил построения оптимальной конфигурации сети. Расположение элементов сети на территории города влияет на технико-экономические показатели, правильный выбор параметров этих элементов требует анализа правил построения оптимальной конфигурации.

Выбор параметров распределительной электрической сети постоянного тока, осуществляется на основании результатов ее анализа (разработанных принципов и оптимальных алгоритмов построения) относительно идеальной структуры такой сети. Например, нам известны основные параметры (поверхности сечений сетевых кабелей с напряжением до 1000 В, ТП и количество линий, отходящих от источника питания), то есть эти параметры постоянны для областей с одинаковой плотностью электрических нагрузок.

В этих условиях оптимальная конфигурация распределительных электрических сетей должна соответствовать минимуму общей длины сети и каждому номинальному напряжению. Он также должен соответствовать минимуму общих расходов. Если оптимальная нагрузка каждой линии примерно одинакова (при заданном напряжении), то такая ситуация также соответствует минимуму общих затрат для сетей.

Сложность определения оптимальной конфигурации (наличие многолинейных, многокомпонентных и ряда предельных нагрузок), специфика поставленной задачи обуславливают необходимость исследования и разработки наиболее производительных полу- «эвристических» алгоритмов. На основе программирования предложена модель минимизации длины кабельной линии.

The article identifies the rules for building the optimal configuration of city distribution power grids by analyzing the available methods. Based on programming, a model for minimizing cable line length has been proposed. The issues of the construction of city distribution power grids are currently topical. The increase in the number and power of electricity consumers in the urban area requires an improvement in the rules for the construction of the optimal configuration by region. The location of network elements in the territory of the city affects the technical and economic indicators that occur in

electrical networks. The correct selection of the parameters of these elements requires an analysis of the rules for building the optimal configuration.

The choice of parameters of the city distribution power network, as shown above, is based on the results of an optimal analysis (developed principles and optimal construction algorithms) with respect to the ideal structure of such a network. For example, the main parameters (the cross-section surfaces of medium and voltage network cables up to 1000 V, the number of outgoing lines from TP and the supply source) are known to us. That is, these parameters are constant for regions where the density of electric charges is the same.

Under these conditions, the optimal configuration of the distribution power grid must meet the minimum of the total length of the network and each nominal voltage. It should also correspond to the minimum of total costs. If the optimal load of each line is approximately the same (at a given voltage), this situation also corresponds to a minimum of the total cost for networks.

The complexity of determining the optimal configuration (the presence of a multi-line, multi-connection and a number of limitations), the specific characteristics of the task set, the most-forming semi - "gevrictic" algorithms require research and development. Alga minimizing cable line length based on programming proposed model.

Ҳозирги кунда шаҳар тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал конфигурациясини куриш, бундай тармоқнинг идеал тузилмасига нисбатан оптимал таҳлили (ишлаб чиқилган тамойиллар ва оптимал куриш алгоритмлари) натижалари асосида амалга оширилади. Мисол учун, асосий параметрлар (ўрта ва 1000 В гача бўлган кучланишли тармоқ кабелларининг кесим юзалари, ТП ва таъминот манбасидан чиқувчи линиялар сони) бизга маълум. Яъни, ушбу параметрлар электр юкламаларининг зичлиги бир хил бўлган ҳудудлар учун доимийдир. Бундай шароитда тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал конфигурацияси, тармоқ умумий узунлигининг минимумига ва ҳар бир номинал кучланишга жавоб бериши керак. Шунингдек, умумий харажатларнинг минимумига мос келиши керак. Агар ҳар бир линиянинг оптимал юкламаси тахминан бир хил (берилган кучланишда) бўлса, бу ҳолат тармоқлар учун умумий харажатларнинг минимумига ҳам мос келади [1, 2].

Биринчи, конфигурациянинг "элементи" ни куришда асосий услубий қоидаларни (белгиланган N нуқталарни текисликда улаш тартиби) кўриб чиқилади. Ушбу нуқталар олдиндан гуруҳланган ва ажратилган деб тахмин қилинади [3].

Текисликда берилган N та нуқта учун оптимал конфигурацияни аниқлашда амалий математиканинг вазифаси, яъни муаммоларидан бирига келтириш мумкин: - "бир чизиқли уланиш" (очиқ тарзда),

“минимал дарахт” (энг қисқа магистрал), “энг қисқа масофадаги дарахт” ва “Штайнер дарахти” деб аталади [4].

Ифода тушунарли бўлиши учун тармоқни шакллантириш билан боғлиқ ушбу тўртта вазифа ҳақида қисқача маълумот тақдим этилади:

Бир чизиқли уланиш масаласи. Текисликда N та нуқта берилган. Барча N нуқталарнинг бир чизиқли уланишини топиш талаб қилиниб, бунда уланишнинг умумий узунлиги минимум бўлсин. Ушбу масала иккита кўринишга эга, биринчиси, уланиш берк (ёпиқ), иккинчиси очиқ контур ҳосил қилган. Ушбу масалани ечиш учун бир нечта алгоритмлар ишлаб чиқилган [13, 5].

Минимал дарахт масаласи. Ўзининг чўққисидаги барча N нуқтага эга бўлган шохларнинг энг кам узунлигидаги дарахтни топилади. Графлар назариясида бу масаласи тўлиқ ечилган ҳисобланиб, бу масалани ечишнинг бир қатор самарали алгоритмлари мавжуд [7]. Масаланинг ечими дастлабки учта масала ечимининг пастки чегараси (энг минимал) ҳисобланади.

Энг қисқа масофадаги дарахт масаласи. Дастлабки чўққига нисбатан барча N чўққиларни ёпадиган энг қисқа дарахт масофаси топилади. Бу чўққида илдизга эга бўлган дарахтдир, ундан бошқа чўққиларга борадиган минимал ва ягона йўл [8].

Штайнер дарахти масаласи. Минимал дарахтдан фарқли “Штайнер дарахти” қуйидаги хусусиятга эга:

Агар минимал дарахтда чўққилар сони ўрнатилиб ва ҳар қандай уланишлар фақат текисликдаги чўққидан чўққига ўтиш бўлса, унда Штайнер дарахтида қўшимча чўққиларни ўрнатиши мумкин. Бунинг натижасида, бу дарахт одатдаги дарахтга нисбатан минимал умумий узунликка эга бўлади. Эвклид текислигида, Штайнер дарахти $\sqrt{3}/2$ марта қисқа ва тўртбурчаклар ўлчовига келсак, бу нисбат $2/3$ қийматиға тенглиги исботланган [6].

Шаҳар электр тармоқларининг оптимал конфигурациясини аниқлаш учун мавжуд усуллар қандайдир қўшимча тармоқлар билан минимал дарахтларни (минимал харажат) тахминий кўринишга олиб келади [18].

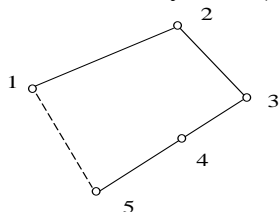
Оптимал конфигурацияни аниқлашнинг ҳар қандай масала юқорида келтирилган масаладан бири сифатида тасаввур қилиш мумкин. Бундан ташқари қуйидагиларни ҳисобга олиш керак:

агар уланишлар бир нуқтадан бошқасига ўтиши керак бўлса ва ҳар қандай текислик фақат икки ёки ундан кам қирраларни боғлаб турса, унда бу бир чизиқли уланиш масаласи турига тегишлидир (1а-расмга қаранг);

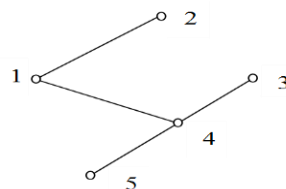
агар уланишлар нуқтадан нуқтага ўтиши мумкин бўлса ва ҳар қандай чўққи икки ёки қобирғани улаш имконига эга бўлса, бу минимал дарахт тўғрисидаги масала турига тегишли бўлади (1в-расмга қаранг);

агар чўққиларда ихтиёрий қобирғаларни улашга рухсат этилса, бу энг қисқа масофалар дарахти масаласи бўлади (1б-расмга қаранг);

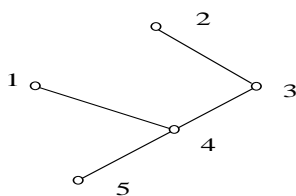
агар минимал дарахтда қўшимча шохланган чўққиға киритиш мумкин бўлса (N белгиланган нукталари ташқари), бу Штайнер дарахт куришиға тегишли бўлади (1г-расмға қаранг).



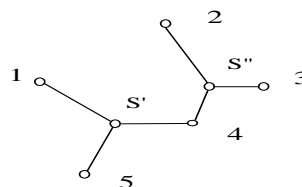
а) “Бир чизиқли уланиш” йўли (очик)



б) Дастлабки чўққиға нисбатан энг қисқа масофалар дарахти (1)



в) Минимал дарахт



г) Штейнер дарахти; S' , S'' - қўшимча чўққиғлар

1-расм. Мумкин бўлган тармоқ конфигурациясида истеъмол тугунларининг текисликда жойлашиши

Шаҳар тақсимловчи электр тармоқ кабел линиялари трассасининг хусусиятлари ва оптимал конфигурацияни танлашға боғлиқ усулларни аниқлашни кўриб чиқамиз.

1000 В гача бўлган кабел линиялари қоидаға асосан, пиёдалар юриш йўллари бўйлаб даҳалар ичида (майсазор остига ётқизиш мумкин бўлса ҳам) ётқизилади. Ўрта кучланишли кабеллар асосан, кўчалар бўйлаб пиёдалар йўлаги тагига ётқизилади.

Шаҳарлар тақсимловчи электр тармоқлари ва бундай тармоқларда бажарилган лойиҳаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, икки нукта орасидаги кабел линиянинг узунлигини аниқлашда Эвклиднинг одатдаги масофа ўлчови ўрниға тўғри бурчакли ўлчови ишлатиш тўғри бўлади. Текисликдаги икки нукта орасидаги масофа қуйидаги ифода билан ўлчанади:

$$d = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2|; \quad (1)$$

бунда X_1, Y_1, X_2, Y_2 - 1 ва 2 нукта координатаси.

Одатда, ушбу масофани ўлчашда икки нукта орасидаги минимал узунликдаги йўл ягона эмас.

Юкорида кўрсатилгандек, Штейнер дарахтини куриш энг яхши ҳолатда минимал дарахтға нисбатан, линиялар узунлигини сезиларли даражада ($2/3$ марта) камайишиға олиб келади. Бирок, амалда бундай

ечимни қўллаш бир қатор қўшимча қийинчиликлар билан боғланган, яъни:

- тармоқ дарахтининг қўшимча чўққилари номақбуллиги - кабел линияларининг қўшимча тармоқланиши, айниқса уч ёки тўртта кабел учун истеъмолчиларнинг уланиш нуқталарида (иқтисодий сабабларга кўра ва электр таъминотининг ишончилиги учун) эмаслиги;

- тармоқ трассаларида ҳар хил турдаги чегараланишларнинг мавжудлиги.

Шунинг учун бу тамойил шаҳар тақсимловчи электр тармоқ кабел линиялари конфигурациясини шакллантиришда қўлланилиши мумкин эмас.

Кичик шаҳарларда асосан, 0.4, 6, 10 кВ кучланишли ҳаво линиялари ишлатилади. Бундай тармоқларнинг қўшимча шохланган чўққи билан минимал дарахтнинг юқоридаги тартибда шаклланиши баъзан бир қатор самара бериши мумкин, чунки:

биринчидан, ҳаво линияларини таянчларда қўшимча тармоқланиши иқтисодий жиҳатдан мақбул, уларни жуда содда ва ишончли бажариш мумкин;

иккинчидан, кичик шаҳарлар катта бўлмаган электр юклама зичлигига эга. Шунинг учун битта линияга уланган истеъмолчилар сони нисбатан катта ва қўшимча тармоқланган тугунлари билан линиялар узунлигини сезиларли кичрайишига олиб келади [16].

Юқоридаги ифодалаш текисликда белгиланган N нуқталар билан конфигурация “элемент” қуришга тегишлидир. Олдиндан танланган оптимал параметрлар билан тақсимловчи электр тармоқларнинг оптимал конфигурациясини аниқлашнинг тўлиқ масаласи (бу параметрлар қўрилаётган ҳудудда тахминан бир хил электр юклама зичлигида ўзгармас) қуйидагича ифодаланиши мумкин.

N истеъмол нуқталари, уларнинг координаталари ва ҳисоблаш юкламалари берилган. Трансформатор подстанциясининг (оптимал қувватда) жойлашган ўрнини аниқлаш, барча трансформатор подстанциялари доирасида ҳар бир 1000 В гача линияни ифодалаш ва кўриб чиқилган ҳудудда ҳар бир ўрта кучланиш тармоғини ифодалаш керак. Линиялар оптимал ўтказиш қобилятига эга бўлиши ҳамда барча техник ва топологик (трассанинг ўтказувчанлигига боғлиқ) чегараланишларни қониқтириши керак [15].

Бир вақтнинг ўзида бутун тақсимловчи электр тармоқни (1000 В гача бўлган ва ўрта кучланишли тармоқ, ТП) кўриб чиқиш зарурлиги масалани жуда мураккаблаштиради. Техник ва топологик характерли чегараланишни ҳисобга олган ҳолда тармоқни кўп линия билан қуришда ечишнинг турли босқичлари маълум эвристик усулларни қўллашни талаб қилади. Дастлаб битта ТП ни оптимал қувватидан ва ТП дан чиқадиган

ҳар бир линия билан таъминладиган истеъмолчилар гуруҳларини олдиндан ажратиш имконини беради [19, 20].

ТП нинг оптимал қувватига тенг умумий қувватга эга бўлган истеъмолчиларнинг танланган гуруҳи учун электр юкламаларнинг марказини (ТП нинг жойлашиш ўрни) топиб, 1000 В гача бўлган тармоқ конфигурацияси қуриш керак. Шу билан бирга, ТП ҳудудидаги истеъмолчиларининг умумий қуввати 1000 В гача бўлган линия бўйлаб оптимал узатиладиган қувватга тенг бўлган бир неча кичик гуруҳларга ажратиш керак. Ушбу кичик гуруҳларнинг ҳар бири ТП дан чиқадиган 1000 В гача бўлган битта линия билан таъминланади. Ушбу линиялар ҳар бирининг конфигурацияси масалаларидан бирининг ечими – бир чизиқли ёки минимал дарахт орқали қурилиши керак. Шунини таъкидлаш керакки, бу икки муаммо минимал дарахт масаласини ҳал қилиш учун алгоритмни такроран қўллаш билан боғлиқ бўлиб, дарахтнинг барча чўққилар даражаси билан иккита чўққи даражасига эга графикдаги энг қисқа “Хамилтон” занжирига олиб келади [10, 11]. Дастлабки гуруҳлаш шартларини ўзгартириш (бошланғич нуқтаси) 1000 В гача бўлган тармоқ конфигурациясининг ўзгариши ва умумий узунликнинг бошқа қийматига олиб келади. ТП нинг оптимал қувватига тенг умумий қувватга эга юкламаларни гуруҳлашнинг бошланғич нуқтасига қараб электр юкламаларнинг марказлари (ТП нинг жойлашиш) ўзгаради. Бу эса тармоқнинг конфигурацияси ва 1000 В гача бўлган тармоқ умумий узунлигини ўзгартиради. Шундай қилиб, ТП нинг кўриб чиқиладиган ҳудуд ичидаги жойлашуви 1000 В гача бўлган тармоқ конфигурациясини қуриш билан биргаликда ҳал қилиниши керак. ТП жойларидаги нисбий ўзгаришлар (лекин ҳар доим электр юкламаларининг марказида) ўрта кучланишли тақсимловчи электр тармоғининг узунлигига деярли таъсир қилмайди [9].

Ўрта кучланишли тақсимловчи электр тармоқ конфигурациясини қуриш қуйидагича бошланади. ТП ўрта кучланишли тармоқ линиясининг оптимал қувватига тенг умумий қувват гуруҳланади ва барча линияларнинг конфигурацияси қурилади. Гуруҳлашнинг бошланғич нуқтасини ўзгариши, бошқа конфигурацияга олиб келади. Энг кам умумий линия узунлиги билан конфигурация танланади [12, 14, 17].

Текисликда берилган N нуқта билан тармоқнинг оптимал конфигурациясини қуришнинг асосий тартиблари баён этилади.

Олдиндан танланган оптимал параметрлар билан шаҳар тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал конфигурациясини қуриш масаласини ҳал қилиш учун ҳисоблаш кетма-кетлигини бажариш қуйидагича:

а) оптимал қувватли ҳар бир ТП дан таъминладиган гуруҳ истеъмолчиларини ажратиш ва ТП (ҳар бир гуруҳ электр юкламалар марказлари) ўрнини аниқлаш;

б) ҳар бир ТП оралиғида 1000 В гача бўлган тармоқни қуриш (ҳар бир чиқувчи линия орқали таъминланадиган юкламаларнинг кичик гуруҳларга ажратиш билан 1000 В гача оптимал ўтказувчанлик қобиляти ва ҳар бир линия конфигурациясини қуриш);

в) дастлабки гуруҳлаш шартларини ўзгартириш ҳамда ТП жойлари ва 1000 В гача бўлган тармоқ конфигурациясини аниқлаш;

г) оптимал ўтказувчанлик қобилятига эга бўлган ўрта кучланиш тармоғининг ҳар бир тақсимловчи линиясидан таъминланадиган ТП гуруҳларини ажратиш ва ҳар бир линия конфигурациясини қуриш;

д) гуруҳлашни дастлабки нуқтасининг бошланғич шартларини ўзгартириш ва умумий узунликнинг минимумига жавоб берадиган ўрта кучланиш тармоғининг конфигурациясини аниқлаш.

Кўрсатилган бу ишлар тақсимловчи электр тармоқларининг айрим хусусий техник-иқтисодий моделларининг таҳлили бўлиб, шаҳар тақсимловчи электр тармоғининг барча параметрлари учун асосланган баҳо бермайди. Элементларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини янада тўлиқ ҳисобга олиш, математик моделга барча асосий оптималлаштирилган параметрларни киритиш техник чегараланишларни ҳисобга олиш зарур.

Адабиёт

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016 йил 23 ноябрдаги ПҚ-2661-сон «2017-2021 йилларда паст кучланишли электр тармоқларини янада модернизация қилиш ва янгилаш дастури тўғрисида» ги Қарори.

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар Стратегияси тўғрисида» ги Фармони.

3. Проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов: [ruscable.ru/article/Problemy_ ...](http://ruscable.ru/article/Problemy_...) Прогноз потребления электроэнергии до 2030 года. [coolreferat.com/Прогноз_ ...](http://coolreferat.com/Прогноз_...)

4. Беляев И.П. Основы теории принятия решений. - М.: МГСУ, 2005. - 375 с.

5. Таслимов А.Д. Методология выбора параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Автореф. дисс. на соискание ученой степени док. тех. наук, - Т., 2019.

6. Taslimov A.D., Rakhimov F.M., Yuldashev A.A., Melikuziyev M.V. Multiparameter optimization of the parameters of distributed electrical networks taking into account unification. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. ISSN: 2350-0328. India. December 2019. Vol.6, Issue 12 pp. 12059-12063.

7. Харари Ф. Теория графов. М.:МИР, 1973.

8. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. –М.: Наука, 1974. - 366 с.
9. Экономика промышленности: Учебное пособие для ВУЗов в 3-х т. Т. 3. Экономика машиностроительного комплекса. / Под ред. А.И. Барановского, Н.Н. Кожевникова, Н.В. Пирадовой. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 432 с.
10. Y.Y.Yan g, O.Wing. Suboptimal algorithm for a wire routing problem. IEEE transation on sircuit theory. vol.ST-19, sept.1972.
11. Теория графов. Н.Кристофидес. -М.: МИР, 1978. - 432 с.
12. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В., Муродов Б.К. Программа комплексной технико-экономической модели унификации сечений кабелей городских распределительных электрических сетей 1000В// Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №05721. 18.09.2018.
13. Таслимов А.Д. Унификация параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. – Т.: ТашГТУ, 2019. – 148 с.
14. Фадеева Г.А., Федин В.Т. Проектирование распределительных электрических сетей. – М.: Высшая школа, 2009. – 368 с.
15. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В., Рахимов Ф.М. // Паст кучланишли электр тармокларининг оптимал параметрларини танлаш учун уларга сарфланадиган умумий харажатларнинг математик моделини шакллантириш дастури // DGU №07379. 19.12.2019 йил.
16. Киселев А. Н. Техничко-экономический анализ городских распределительных электрических сетей с учетом их развития: Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук ., - М., 2003.
17. Manjure D.P., Makram E.B. Optimal load curtailment as a bi-criteria program // Electrical Power Systems Research. - Vol. 66 - 2003. – pp. 155-161.
18. A.D.Taslimov, A.S.Berdishev, M.V.Melikuziev, F.M.Rakhimov. Method of selecting parameters of cable lines distributive networks 10 kv in uncertainty conditions. Международная конференция Руденко «Методологические проблемы в изучении надежности крупных энергетических систем». Ташкент. doi.org/10.1051/e3sconf/201913901082 Том 139 (2019), PP. 1-3. (RSES 2019) eISSN:2267-1242. <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/65/contents/contents.html>.
19. Козлов В.А., Билик Н.И. Справочник по проектированию систем электроснабжения городов. - Л.: Энергия, 2004. - 275 с.
20. Козлов В.А. Городские распределительные сети. -Л.: Энергия. 2001. -274 с.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.311.1.016

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ**Т.Ш. Гайибов, Б.А. Узаков**

Energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini kompleks optimallashtirish ruxsat etilgan rejimlar sohasida elektr stansiyalaridagi agregatlarning optimal tarkibi, hisobiy elektr stansiyalarining aktiv va reaktiv quvvatlari, rostlanuvchan kompensatorlarning optimal reaktiv quvvatlari, tayanch tugunlarining optimal quvvatlari va rostlanuvchan transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsientlarini elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash bilan bog'liq bo'lgan xarajatlar minimal bo'lishini ta'minlovchi qiymatlarini aniqlashni ko'zda tutadi. Zamonaviy energetika tizimlari uchun bunday murakkab masalani birgalikda bir urinishda yechish qiyin bo'lganligi sababli ularni yechish uchun dekompozitsiyalash tamoyillaridan foydalanish qabul qilingan. Bunda dastlabki kompleks optimallashtirish masalasi ikkita kichik masalalarga – energetika tizimining holatini optimallashtirish va elektr tarmog'ining holatini optimallashtirish kichik masalalariga ajratiladi. Energetika tizimining holatini optimallashtirish masalasi elektr stansiyalarida ishlovchi agregatlarning optimal tarkibi ma'lum bo'lgan sharoitda energetika tizimining umumiy yuklamasini mavjud stansiyalar o'rtasida elektr tarmog'idagi isroflar va barcha chegaraviy shartlarni hisobga olib optimal taqsimlashni ko'zda tutadi. Mazkur maqolada aynan ushbu masalani yechish muammolari ko'rib o'tilgan.

Hozirgi davrda ushbu masalani yechishning ko'plab usul va algoritmlari mavjud bo'lishiga qaramasdan ularni ta'sir etuvchi faktorlarni to'g'ri hisobga olish yo'nalishida takomillashtirish dolzarb masalalardan biri bo'lib qolmoqda. Bunday faktorlardan biri tengsizlik ko'rinishidagi funksional chegaraviy shartlar hisoblanadi.

Ushbu ishda energetika tizimlarining holatlarini tarmoqlardagi isroflar va nazorat qilinuvchi elektr uzatish liniyalari (EUL)da quvvat oqimlari bo'yicha funksional chegaraviy shartlarni hisobga olib optimallashtirish yangi algoritmi keltirilgan. Algoritmning xarakterli xususiyati bo'lib EULda quvvat oqimlarini hisoblashda shoxobchalardagi quvvat isroflarini ularning har ikkala tomonidagi tugunlarning yulkamalari ko'rinishida ifodalash hisoblanadi.

O'tkazilgan hisoblash tajribalari va ularning natijalarini tahlillash asosida taklif etilgan algoritmning yuqori samaradorlikka ega ekanligi ko'rsatilgan.

Комплексная оптимизация краткосрочных режимов энергосистем предусматривает определение в зоне допустимых режимов: оптимальный состав работающих агрегатов в электростанциях, величин активных и реактивных мощностей расчетных электростанций и реактивных мощностей регулируемых компенсаторов, уровней напряжений опорных узлов и коэффициентов трансформаций регулируемых трансформаторов. При этом должны обеспечиваться минимальные затраты, связанные с производством, передачей и распределением электроэнергии. Ввиду сложности решения такой задачи для современных энергосистем в один прием принято использование принципов декомпозиции – разделения задачи на две подзадачи. Одной из подзадач является оптимизация режимов энергосистем по активной мощности, который, при известном составе работающих агрегатов, предусматривает оптимальное распределение активных нагрузок потребителей и суммарных потерь активной мощности в сетях между расчетными электростанциями с учетом всех ограничений. В данной работе рассматриваются вопросы решения этой задачи.

Несмотря на существование в настоящее время множества методов и алгоритмов решения данной задачи, вопросы их усовершенствования в направлении корректного учета влияющих на режим факторов, остаются актуальными. Одним из таких факторов является функциональные ограничения в виде неравенств.

В работе приводится новый алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений в виде неравенств по потокам мощностей контролируемых линий электропередачи (ЛЭП). Характерной особенностью алгоритма является учет потерь в ветвях при расчете потоков мощностей путем переноса их к узлам электрической сети.

На основе проведенных расчетных экспериментов и анализа их результатов показана высокая эффективность предложенного алгоритма.

Complex optimization of power system short-term modes provides for determination in the zone of permissible modes the optimal composition of operating units in power plants, active and reactive powers of power plants, reactive powers of adjustable compensators, voltages of support nodes and transformation ratios of controllable transformers, which ensure the minimum costs associated with production, transmission and distribution of electricity. Due to the complexity of solving such a problem for modern power systems in one step, it is accepted to use the principles of decomposition - division of the problem into two subtasks. One of the subtasks is optimization the modes of power systems on active power, which, with a known composition of operating units, provides for the optimal distribution of active loads of consumers and total losses of active power in networks between power plants, taking into

account all the constraints. This paper discusses the issues of solving this problem.

Despite the existence at present many methods and algorithms for solving this problem, the issues of their improvement in the direction of correctly taking into account the factors, which affects to the regime remains as a important problem. One of such factors is functional inequality constraints.

The paper presents a new algorithm for optimization the modes of power systems, taking into account losses in networks and functional constraints in the form of inequalities on power flows of controlled power transmission lines (PTL). A characteristic feature of the algorithm is taking into account the losses in branches when calculating the power flows by transferring them to the nodes of the electrical network.

In bases of calculated experiments and analysis of their results, the high efficiency of the proposed algorithm is shown.

Введение. Комплексная оптимизация краткосрочных режимов электроэнергетических систем предусматривает определение для каждого интервала периода планирования: оптимальный состав работающих агрегатов на электростанциях, величин активных и реактивных мощностей электростанций, участвующих в оптимизации, реактивных мощностей регулируемых компенсаторов, напряжений опорных узлов и коэффициентов трансформаций регулируемых трансформаторов [1, 6-7]. Такая задача для современных энергосистем представляет собой сложную задачу нелинейного математического программирования с большим числом регулируемых параметров и различных ограничений, разной масштабностью отыскиваемых переменных и большим объемом, а иногда недостаточностью требуемой исходной информации. Соответственно, решение такой задачи с достаточной для практических целей точностью в процессе планирования краткосрочных режимов и оперативного управления режимами энергосистем, связано с множеством трудностей. Для преодоления этих трудностей принят принцип декомпозиции исходной задачи на две подзадачи – оптимизацию режимов энергосистем и оптимизацию режимов электрических сетей. В данной работе рассматривается проблема решения первой подзадачи – оптимизация режимов энергосистем по активной мощности, которая предусматривает оптимальное распределение нагрузки энергосистемы между расчетными электростанциями с учетом потерь в сетях и ограничений в виде равенств и неравенств.

Несмотря на существование в настоящее время множества методов и алгоритмов оптимизации режимов энергосистем [1-3, 5, 12-22], вопросы их усовершенствования в направлении более корректного учета потерь в сетях и функциональных ограничений в виде неравенств по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП остаются актуальными.

В данной работе приводится эффективный алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений в виде неравенств по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП. Он отличается учетом потерь в ветвях электрической сети, при расчете потоков мощностей, путем отнесения их к узловым нагрузкам.

Методы. Для описания сущности предлагаемого алгоритма рассмотрим энергосистему, содержащую только расчетные ТЭС. Так как все расчетные ТЭС при известных значениях неопределенных множителей Лагранжа λ , представляющих собой эквивалентов расходов воды в них в топливных издержках, в расчетном смысле приводятся к разряду эквивалентных ТЭС как в [2, 3, 12, 13]. В таком случае, задачу оптимизации для любого интервала рассматриваемого периода планирования математически можно представить в следующем виде:

минимизировать функцию суммарных топливных издержек в ТЭС

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

с учетом ограничений: по балансу активной мощности в энергосистеме

$$W = \sum_{i=1}^n P_i - P_n - \pi = 0; \quad (2)$$

по минимальным и максимальным граничным мощностям станций

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

по минимальным и максимальным допустимым потокам мощностей в контролируемых ЛЭП

$$P_l^{\min} \leq P_l \leq P_l^{\max}, \quad l = 1, 2, \dots, L; \quad (4)$$

где n, L - число расчетных ТЭС и ЛЭП, потоки мощностей в которых контролируются, соответственно; $P_i, P_i^{\min}, P_i^{\max}$ - расчетная и предельно возможные нагрузки i -й ТЭС; B_i - топливная издержка в i -й ТЭС; P_n - суммарная нагрузка энергосистемы; π - суммарные потери активной мощности в электрических сетях; W - функция небаланса активной мощности в энергосистеме; $P_l, P_l^{\min}, P_l^{\max}$ - расчетная и предельно возможные потоки мощности в l -й контролируемой ЛЭП.

Учитывая ограничения по балансу активной мощности в ЭЭС через неопределенный множитель Лагранжа μ , а ограничений в виде неравенств, наложенных на потоки активной мощности в контролируемых ЛЭП P_l штрафными функциями $Ш_l$ [1-3, 5, 10], рассматриваемую задачу можно свести к задаче минимизации следующей обобщенной функции с учетом ограничения (3) [4, 8]:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + \mu W + \sum_{l=1}^L Ш_l \rightarrow \min. \quad (5)$$

Из необходимого условия экстремума функции (5) задачу можно свести к системе с $n+1$ уравнениями с таким же количеством неизвестных, которая имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial P_i} &= b_i + \mu(1 - \sigma_i) + \sum_{l=1}^L w_{li} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial F}{\partial \mu} &= W = \sum_{i=1}^n P_i - P_n - \pi = 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $b_i = \frac{\partial B_i}{\partial P_i}$ - относительный прирост топливных издержек на i -й ТЭС;

$\sigma_i = \frac{d\pi}{dP_i}$ - производный (относительный прирост) потерь по мощности i -й

ТЭС; $w_{li} = \frac{\partial \Pi_l}{\partial P_i}$.

Разделив первое уравнение в (6) на $1 - \sigma_i$, и введя обозначение $\eta_i = \frac{1}{1 - \sigma_i}$ получим:

$$\left. \begin{aligned} \eta_i \left(b_i + \sum_{l=1}^L w_{li} \right) &= -\mu = idem, \\ \sum_{i=1}^n P_i - P_n - \pi &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7) является условием оптимальности распределения нагрузки энергосистемы между электростанциями с учетом потерь в электрических сетях и функциональных ограничений. Поэтому решение задачи заключается в реализации условия (7) с учетом ограничений (3). Здесь оптимизация сводится к снижению суммарных топливных издержек в энергосистеме за счет снижения потерь, а не к простой её раздаче между расчётными электростанциями.

При расчете потоков мощностей в контролируемых ЛЭП по линеаризованным формулам с использованием коэффициентов распределения мощностей узлов [1-3] суммарные потери активной мощности π и производные от неё по мощностям расчетных ТЭС σ_i , как сложные функции всех электрических параметров определяются на основе электрических расчетов установившихся режимов электрических сетей. Таким образом, эти параметры определяют связь между двумя подзадачами, получаемыми в результате декомпозиции общей задачи комплексной оптимизации.

В настоящее время разработано множество алгоритмов решения задач оптимизации режимов энергосистем, основанные на использовании классических методов как градиентные [1, 5, 11], Ньютона [2, 12], эвристические [14, 15], методов искусственного интеллекта как алгоритм

муравей [16, 17], искусственных нейронных сетей [18, 19], эволюционные алгоритмы [10, 20-22] и т.п., которые могут быть применены для решения рассматриваемой задачи. Вместе с тем, использование этих методов часто связано с вычислительными трудностями по учету сетевого фактора, т.е. потерь в сетях и функциональных ограничений в виде неравенств по потоком мощностей в контролируемых ЛЭП. Хотя в существующих алгоритмах оптимизации по активной мощности эти трудности преодолеваются применением соответствующих расчетных процедур, используемые в них допущения часто приводят к снижению эффекта от оптимизации. В частности, расчет потоков мощностей по контролируемым ЛЭП по линеаризованным формулам с использованием коэффициентов распределения мощностей узлов при оптимизации с учетом потерь в сетях может привести к существенным погрешностям. Здесь предлагается новый алгоритм решения данной задачи, основанный на учет потерь в ветвях электрической сети, на этапе расчета потоков мощностей, путем переноса их на узлы в концах ветви.

Потоки мощностей в контролируемых ЛЭП P_l определяются по линеаризованным выражениям с использованием коэффициентов распределения:

$$P_l = \sum_{i \in \Gamma} C_{li} P_i - \sum_{j \in H} C_{lj} P_j + P_{l0} ; \quad (8)$$

где Γ, H - множества станционных и нагрузочных узлов в энергосистеме; P_i, P_j - активные мощности станции в i -м и нагрузки в j -м узлах; P_{l0} - свободный член линеаризованного выражения потока мощности в l -й контролируемой ЛЭП.

Сущность предлагаемого алгоритма заключается в следующем:

1. Осуществляется оптимальное распределение нагрузки энергосистемы между расчетными ТЭС с учетом всех ограничений.
2. По полученным оптимальным мощностям станций выполняется расчет установившегося режима электрической сети и определяются потери во всех ветвях $k-t$ π_{kt} и суммарные потери в электрических сетях π .
3. Осуществляется расчет производных потерь σ_i для всех станционных узлов.
4. Выполняется оптимизация режима энергосистемы с учетом потерь в сетях и всех ограничений, в частности функциональных ограничений по потоком мощностей в контролируемых ЛЭП с использованием полученных π_{kt} , π и σ_i . При этом потери мощности в каждой ветви π_{kt} учитывается переносом её на соответствующие узлы k и t . В таком случае, нагрузка узла k с учетом потерь в отходящих от него ветвях $P_{n,k}^{нов.}$ определяется как

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Реактивные мощности узлов, МВАР:

$Q_1 = -180$, $Q_2 = 80$, $Q_3 = 200$, $Q_4 = 70$, $Q_5 = 200$, $Q_6 = -340$, $Q_7 = -170$.

Ограничения по минимальным и максимальным возможным мощностям ТЭС, МВт:

$100 \leq P_i \leq 1000$, $i = 0, 1, 6, 7$.

В ЛЭП 1-2 и 6-5 ограничены потоки активной мощности, МВт:

$P_{1-2} \leq 270$, $P_{6-5} \leq 220$.

В табл.1. приведены коэффициенты распределения мощностей узлов по контролируемым ЛЭП.

Таблица 1

Коэффициенты распределения мощностей узлов по контролируемым ЛЭП.

ЛЭП, /	Коэффициента распределения мощностей узлов								P_{10} , МВт
	8	1	2	3	4	5	6	7	
1-2	0	0,1117	-0,5951	-0,4384	-0,0722	-0,1469	-0,2809	-0,5192	42
6-5	0	0,1117	0,4048	0,5615	-0,0722	-0,1469	0,7190	0,4806	27

Оптимизация осуществлялась методом Ньютона, а расчеты установившихся режимов электрической сети выполнялись методом Ньютона-Рафсона [2, 12]. Производные потерь в электрических сетях по мощностям расчетных ТЭС определялись методом конечных приращений с $\Delta P_i = 0,2$ МВт и расчетом установившегося режима электрической сети с точностью по напряжению 0,001 кВ.

Для сравнения и оценки эффективности результатов оптимизации предложенным алгоритмом с учетом различных факторов в табл.2. приведены результаты оптимизации режима энергосистемы с учетом потерь в сетях, но без учета ограничений по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП.

Таблица 2

Результаты оптимизации с учетом потерь в сетях (без учета ограничений по потокам мощностей контролируемых ЛЭП).

Номер итерации	P_8 , МВт	P_1 , МВт	P_6 , МВт	P_7 , МВт	B , т.у.т./ч.	π , МВт
0	346,60	277,28	478,80	668,20	1946,50	68,75
1	341,53	275,73	495,01	656,50	1943,74	68,07
2	341,50	275,70	492,88	657,99	1942,49	68,16
3	341,49	275,70	492,89	657,99	1942,48	68,15

Таким образом, учет потерь в сетях с расчетом производных потерь и соответствующим распределением нагрузки энергосистемы между ТЭС при оптимизации позволяет уменьшить суммарный расход условного

топлива в энергосистеме от 1946,50 т.у.т./ч. до 1942,48 т.у.т./ч., т.е. на 4,02 т.у.т./ч., что составляет 0,2 %.

Для сравнения и оценки эффективности предложенного алгоритма в табл. 3 даны результаты оптимизации режима энергосистемы с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений по потокам мощностей в ЛЭП традиционным алгоритмом (без переноса потерь в ветвях к узлам в его концах).

Таблица 3

Результаты оптимизации с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений традиционным алгоритмом

Номер итерации	P_8 , МВт	P_1 , МВт	P_6 , МВт	P_7 , МВт	B , т.у.т./ч.	P_{1-2} , МВт	P_{1-2} , МВт	π , МВт
0	326,88	300,32	433,96	649,95	1954,78	205,16	220,00	71,12
1	388,82	302,74	441,61	637,94	1955,04	209,52	220,00	70,81
2	387,76	302,37	439,51	641,17	1954,38	208,39	220,00	70,89
3	387,77	302,37	439,50	641,17	1954,39	208,38	220,00	70,89

В табл. 4 приведены результаты оптимизации режима энергосистемы с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП предложенным алгоритмом.

Таблица 4

Результаты оптимизации с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений предложенным алгоритмом

Номер итерации	P_8 , МВт	P_1 , МВт	P_6 , МВт	P_7 , МВт	B , т.у.т./ч.	P_{1-2} , МВт	P_{1-2} , МВт	π , МВт
1	364,15	289,91	463,11	653,46	1947,69	212,73	220,00	69,45
2	361,75	288,14	463,59	654,59	1943,31	213,42	220,00	69,43
3	364,69	288,98	467,32	648,43	1945,75	215,89	220,00	69,28
4	364,51	288,81	466,71	649,25	1945,51	215,50	220,00	69,31
5	364,52	288,81	466,71	649,26	1945,53	215,50	220,00	69,31

Сравнивая результаты оптимизации с учетом потерь в сетях и ограничений по потокам мощностей в ЛЭП традиционным и предложенным алгоритмами убедимся в достаточной эффективности последнего.

Обсуждение. Результаты проведенных исследований показывает, что учет потерь в сетях при оптимизации режимов энергосистем позволяет, в общем случае получить значительный экономический эффект за счет уменьшения и оптимального распределения потерь между станциями (табл. 2).

Учет ограничений по потокам мощностей в некоторых контролируемых ЛЭП может ограничить экономический эффект от оптимизации с учетом потерь в сетях. В рассмотренных выше примерах экономический

эффект от учета потерь в сетях при оптимизации без учета ограничений по потокам мощностей ЛЭП составляет 0,2% (табл. 2), а при оптимизации с учетом потерь в сетях и таких ограничений традиционным алгоритмом составлял 0,02% (табл. 3).

Учет ограничений по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП предложенным алгоритмом, основанным на переносе потерь в ветвях на узловые нагрузки, при оптимизации режимов энергосистем с учетом потерь в сетях позволяет значительно повысить экономический эффект от оптимизации. В рассмотренном примере дополнительная экономия суммарного расхода условного топлива составлял 8,86 т.у.т./ч. или 0,45%.

Выводы:

1. Предложен новый эффективный алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП, основанный на переносе потерь мощностей в ветвях на узловые нагрузки.
2. На основе расчетно-экспериментальных исследований установлено, что использование предложенного алгоритма оптимизации режимов энергосистем с учетом потерь в сетях и ограничений по потокам мощностей ЛЭП позволяет, в общем случае, значительно снизить топливные издержки в расчетных тепловых электростанциях.
3. Функциональные ограничения по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП могут ограничивать возможности получения дополнительных экономических эффектов за счет учета потерь в сетях. Это связано с сужением области допустимых режимов энергосистемы при появлении и увеличении числа таких ограничений.

Литература

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/ Под общ. ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. –М.: Изд-во МЭИ, 2000.
2. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. –Т.: Фан ва технология, 2014.
3. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014.
4. T.Sh.Gayibov., K.M.Reymov. Optimal planning of short-term modes of power systems with control of loads of electric consumers and taking into account of network factor// Scientific journal «European Science review». Austria, Vienna, 2017. - №9-10 September-October. PP. 86-91. ISSN 2310-5577.
5. Методы оптимизации режимов энергосистем/ В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Понамарев и др. Под ред В.М. Горнштейна. – М.: Энергия, 1981.

6. Murty, P. S. R., Optimization and Control in Power Systems (BS Publications, Headarabad, 2008).
7. M.R. Irving and Y.H. Song. Optimization Methods for Electric Power Systems, Part 1, Mathematical Optimization Methods. IEE Power Engineering Journal, 14 (5): 245-254, (2000).
8. Гайибов Т.Ш., Узаков Б.А., Шодиев Б.Т. Усовершенствование алгоритма оптимизации режимов электроэнергетических систем с учетом потерь в сетях. // Материалы Республиканской конференции «Актуальные проблемы и тенденции современных исследований, инноваций, техники и технологий». 10-11 апреля 2020 г., ДжизПИ, Джизак. - С. 136-138.
9. Tulkin Gayibov, Sherxon Latipov, Bakhodir Uzakov. Power System Mode optimization by piecewise-linear approximation of energy characteristics of Power Plants. E3S Web of Conference 139, 01086 (2019). RSES 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901086>.
10. Tulkin Gayibov, Behzod Pulatov. Taking into account the constraints in power system mode optimization by genetic algorithm. E3S Web of Conferences 264, 04045 (2021). CONMECHYDRO-2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404045>.
11. J.C. Carpentier: Optimal Power Flows: Uses, Methods and Developments. In: IFAC Proceedings Volumes. 18(7), pp. 11-21 [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)60410-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)60410-5). (1985).
12. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Т.: Молия, 1999.
13. Tulkin Gayibov, Bekzod Pulatov: Optimization of Short-term Modes of Hydrothermal Power System. E3S Web of Conference 209, 07014 ENERGY-21. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907014>. (2020).
14. Michalewicz Z, Fogel D B. 2004. How to Solve It Modern Heuristics Springer pp 145-487.
15. Yang X S. 2010. Nature-inspired metaheuristic algorithms Luniver Press pp 11-108.
16. Coloni A, Dorigo M and Maniezzo V. 1991. Distributed Optimization by Ant Colonies In Elsevier Publishing Proceedings of ECAL 91 pp 134–142.
17. Slimani L, Bouktir T 2011 Optimal Power Flow Using Artificial Bee Colony with Incorporation of FACTS Devices a Case Study International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.) 6(7) <https://www.researchgate.net/publication/289851270>.
18. Braspenning P J, Thuijsman F and Weijter A J M M. 1995. Artificial Neural Networks An Introduction to ANN Theory and Practice pp 1–100 Springer.
19. Abaci K, Yamacli V. 2019. Hybrid Artificial Neural Network by Using Differential Search Algorithm for Solving Power Flow Problem Advances

in Electrical and Computer Engineering 19(4) pp 57-64
doi:10.4316/AECE.2019.04007.

20. Al-Sumait J S, Sykulski J K and Al-Othman A K. 2008. Solution of Different Types of Economic Load Dispatch Problems Using a Pattern Search Method. Electric Power Components and Systems 36(3) pp 250-265
doi:10.1080/15325000701603892.

21. Yuryevich J, Wong K P. 1999. Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm IEEE Transaction on power Systems 14(4).

22. Bouktir T, Slimani L, Belkacemi M. 2008. Optimal Power Dispatch for Large Scale Power System using stochastic search algorithms
www.researchgate.net/publication/245516225, doi: 10.2316/Journal.203.2008.2.203-3501.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ МОДЕЛЕЙ

М.Б. Худаяров, Т.А. Икрамов, Н.Н. Нормаматов

Ushbu maqola energetika tizimidagi yuklamalarni qisqa muddatli bashorat qilishga bag'ishlanadi. Bugungi kunda elektroenergetikada elektr yuklamasini bashorat qilish muhim ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Bashorat qilish aniqligining oshishi energetika resurslari harajatlarini kamaytirishga hizmat qilib, elektr energiya ta'minotini boshqarish samaradorligini va energetika korxonalari va kompaniyalari daromadlarining mos ravishda o'sishini belgilaydi.

Maqolada Matlab muhitida ishlab chiqilgan dastur asosida keng tarqalgan neyro-noaniq to'g'ridan-to'g'ri tarqalish tarmog'i yordamida yuklarni bashorat qilish va qisqa muddatli bashorat qilish usullari haqida qisqacha ma'lumot berilgan. Maqolada ularni tekshirish uchun statistik ma'lumotlarni yaratish, shuningdek, gibrid neyro-noaniq tarmoq yordamida modellashtirish tartibi tasvirlangan.

Ma'lumotlarni tekshirish keskin farq qiluvchi ma'lumotlarni aniqlashni o'z ichiga oladi. Ortiqcha ko'rsatkichlarni aniqlash Grubbs testi bo'yicha kvartallararo masofa, absolyut qiymat medianasi va uning modifikatsiyasi asosida amalga oshiriladi. Interpolatsiya va ekstrapolyatsiya 5 xil usulda amalga oshiriladi: splinlar; 3-darajali polinom; kaskadli neyron tarmoq; tekis tarqaluvchan neyron tarmoq; bir soat, bir kun va bir hafta davomida yuklarning qiymati bo'yicha.

Modelni shakllantirish uchun MATLAB muhitining Fuzzy Logic Toolbox paketining Sugeno tipidagi modellaridan foydalaniladi. Modellarni shakllantirish jarayoni ikki bosqichda amalga oshiriladi. Dastavval subtraktiv klasterlash va o'rtacha K usulda klasterlash orqali noaniq mantiqiy chiqish modellari hosil qilinadi. Shundan so'ng ANFIS o'qitish yordamida model takomillashtirildi.

Bundan tashqari maqolada yuklamani bashorat qilishga ta'sir ko'rsatuvchi masalalar ham ko'rib chiqilgan. Misol uchun, harorat, kunning turi (ish kuni, dam olish kuni, bayram kuni) va boshqalar.

Noaniq usul yordamida olingan natijalar haqiqiy qiymatlar bilan taqqoslandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, neyro-noaniq modellar tomonidan yuklamani qisqa muddatli bashorat qilish juda yuqori aniqlikka ega.

Данная статья посвящена вопросам краткосрочного прогнозирования нагрузки в энергосистеме. Прогнозирование электрической нагрузки на сегодняшний день является одной из важных научных и практических

задач в электроэнергетике. Повышение точности прогнозирования обеспечивает экономию энергетических ресурсов, определяет эффективность управления электроснабжением и соответствующее увеличение прибыли энергетических предприятий и компаний.

В статье представлены краткий обзор методов прогнозирования нагрузки и результаты краткосрочного прогноза с помощью гибридной нейро-нечёткой сети прямого распространения на основе разработанной программы в среде Matlab. В статье описываются процедуры формирования статистических данных их верификации, а также моделирования с помощью гибридной нейро-нечёткой сети.

Верификация данных предполагает определение резко отличающихся данных, так называемых выбросов. Обнаружение выбросов выполняется по тесту Граббса, на основе оценки межквартильного расстояния, по медиане абсолютной величины и его модификации. При обнаружении выброса, данные восстанавливаются с помощью интерполяции, а на границе базы данных - применением экстраполяции. Интерполяции и экстраполяция выполняется 5 способами: сплайнами; полиномом 3-степени; нейронной сетью каскадного типа; нейронной сетью прямого распространения; по значениям нагрузок на час, сутки и неделю вперед и назад.

Для формирования модели используется модели типа Сугено пакета Fuzzy Logic Toolbox вычислительной среды MATLAB. Процесс формирования моделей выполняется в два этапа. Предварительно выполняется синтез модели нечёткого логического вывода с использованием субтрактивной кластеризации, а также кластеризацией по методу К-средних. Далее выполняется улучшение модели с использованием ANFIS обучения.

В статье также рассмотрены вопросы учёта влияющих на прогнозирование нагрузки параметров, в частности-температуры, типа дня (рабочий, выходной, праздничный) и др.

Результаты прогнозирования на контрольной выборке, полученные нечетким методом, сравнивались с фактическими значениями. Результаты показали, что краткосрочное прогнозирование нагрузки нейро-нечеткими моделями имеют достаточно высокую точность.

This article is devoted to the problem of short-term prediction of load in the power system. Electric load forecasting is one of the most important scientific and practical problems in the electric power industry today. The improvement of forecasting accuracy provides energy savings, determines the efficiency of power supply management and a corresponding increase in the profits of power companies and enterprises.

The article gives a brief overview of the load prediction methods and short term prediction results using a hybrid neuro-fuzzy feedforward network based on the developed program in Matlab environment. The article describes

the procedures for generating statistical data for its verification and modeling using a hybrid neuro-fuzzy network.

Data validation identifies highly deviant data, known as outliers. The detection of outliers is done according to the Grubbs test, based on the estimation of the interquartile range, the median of the absolute value and its modification. When an outlier is detected, the data is recovered by interpolation, and at the edge of the database - by extrapolation. Interpolation and extrapolation are performed in 5 ways: Splines; polynomial of 3-degree; cascade neural network; feed forward neural network; by the value of loads for an hour, a day and a week forward and backward.

Sugeno models of the package Fuzzy Logic Toolbox of the MATLAB computing environment are used for model building. The process of model building is carried out in two stages. First, synthesis of a fuzzy inference model is performed using subtractive clustering as well as clustering using K-Means method. Then, the model is improved by ANFIS training.

The article also discusses the problem of taking into account parameters that affect the prediction of load, in particular temperature, type of day (work, weekend, holiday), etc.

The prediction results of the control sample obtained by the fuzzy method were compared with the actual values. The results showed that the short-term prediction of load by neuro-fuzzy models has quite high accuracy.

Введение

Прогнозирование различных режимных параметров и технико-экономических показателей является одной из важных задач, как при планировании, так и при ведении текущих режимов электроэнергетических систем (ЭЭС). Изменение нагрузки ЭЭС – это сложный процесс, зависящий от множества факторов и имеющий вероятностный (нечёткий) характер. Наиболее распространены методы прогнозирования, основанные на корреляционно-регрессионном анализе [1,2]. В качестве модели для прогнозирования нагрузки могут успешно использоваться также полиномиальные разложения. Если необходим прогноз на длительный интервал времени, то в таких случаях могут использоваться авторегрессионные методы [3-7].

В последнее время получили большое развитие методы прогнозирования с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) на базе многослойного перцептрона [8,9] или с помощью гибридных систем, в основе которых лежат совместное использование ИНС и метода группового учёта аргументов (МГУА) [10-12], а также ИНС и теории нечетких множеств (ТНМ) [13,14], которые рассмотрены в данной работе.

Независимо от типа модели, прогнозирование выполняется как с учетом, так и без учета дополнительных факторов: температуры, типа дня (рабочий, выходной, праздничный) и др. В работе для прогнозирования

нагрузки используется модель, описывающая изменения во времени фактических значений нагрузки, которая в общем виде представляется:

$$P_t = f(P_{t-n}, T_{t-n}, N_t); \quad (1)$$

где P_t - фактическая нагрузка энергосистемы в момент времени t ; P_{t-n} - предшествующие наблюдения нагрузки; T_{t-n} - предшествующие наблюдения температуры окружающей среды; N_t - тип дня недели (рабочий, выходной, праздничный); n - индекс ретроспективы данных.

Типовой алгоритм формирования нейро-нечётких моделей прогнозирования, включает следующие этапы.

Сбор и формирование данных для моделирования. На данном этапе выполняется сбор статистических данных об анализируемом процессе и влияющих на него факторов.

Предварительная обработка статистических данных. Далее устраняются несущественные, по мнению эксперта, и не влияющие на прогноз, данные. При необходимости, восстанавливается пропущенная информация, устраняются аномальные выбросы, убираются высокочастотные шумы, что позволяет улучшить качество прогноза.

Формирование выборок для моделирования с учётом наиболее значимых факторов. На данном этапе выясняется, по какому количеству предшествующих значений временного ряда осуществляется прогноз. При необходимости выделяются наиболее влияющие на прогноз факторы. На основе предыстории значений формируются выборки для моделирования.

Построение модели. На данном этапе для анализируемого процесса выбирается наиболее подходящая парадигма (при использовании нейро-нечётких моделей, порядок формирования базы правил, а также алгоритм и параметры ее обучения).

Проверка качества моделей. На данном этапе выполняется сравнительный анализ качества моделирования с данными контрольной выборки, по результатам которой делается вывод о качестве полученных нейро-нечётких моделей.

Прогнозирование. Последний этап предполагает использование моделей для получения необходимого результата на следующий временной шаг.

Каждый из этих этапов рассмотрим на примере решения задачи прогнозирования нагрузки отдельных энергоузлов электроэнергетической системы.

Формирование статистических данных для моделирования

Для исследования моделей нами использованы почасовые данные по нагрузкам отдельных пяти узлов нагрузок энергосистемы и среднесуточной температуры окружающей среды с ретроспективой за 35 суток, полученные из базы оперативно-информационного комплекса (ОИК), функционирующего в АО «Национальные электрические сети Узбекистана». Для этой цели в программе реализован алгоритм считывания файлов ОИК и формирования базы исходных данных для краткосрочного прогноза энергопотребления в узлах нагрузок ЭЭС.

Формирование базы данных в ОИК производится на основе регистрации различных измерений, формированием суммарных сигналов, передачи данных по каналам телеметрии, их приемом и записью в архивы. На любом из этих этапов возможно искажение сигналов, которые приведут к неправильным значениям, содержащим грубые ошибки, так называемые "выбросы".

Предварительная статистическая обработка данных

На практике часто, до процесса моделирования, требуется установить однородность выборки, т.е. определить, нет ли среди данных резко отличающихся – так называемых выбросов.

Для обнаружения выбросов и выравнивания наблюдений используется ряд статистических методов. К наиболее разработанным методам, которые применимы при анализе одномерной выборки, относятся: тест Граббса; тест на основе оценки межквартильного расстояния; по медиане абсолютной величины (MAD - тест); модификация MAD - теста.

Нами для фильтрации и сглаживания данных использованы все четыре указанных теста. Данные считаются ошибочными при невыполнении условий по любым трем методам из указанных четырех.

При обнаружении выброса для часа t , данные восстанавливаются с помощью интерполяции, а на границе базы данных - применением экстраполяции. Интерполяции и экстраполяции выполняется 5 способами: 1) сплайнами; 2) полином 3 - степени; 3) с помощью нейронной сети каскадного типа; 4) с помощью нейронной сети прямого распространения; 5) по значению нагрузок на час, сутки и неделю вперед и назад.

При использовании пятого метода промежуточные значения вычисляются следующим образом:

$$\begin{cases} P_1(t)=[P(t-1)+P(t+1)]/2; \\ P_2(t)=[P(t-24)+P(t+24)]/2; \\ P_3(t)=[P(t-168)+P(t+168)]/2. \end{cases} \quad (2)$$

Новое, исправленное значение вычисляется как среднее из указанных трех:

$$P(t) = (P_1(t) + P_2(t) + P_3(t))/3. \quad (3)$$

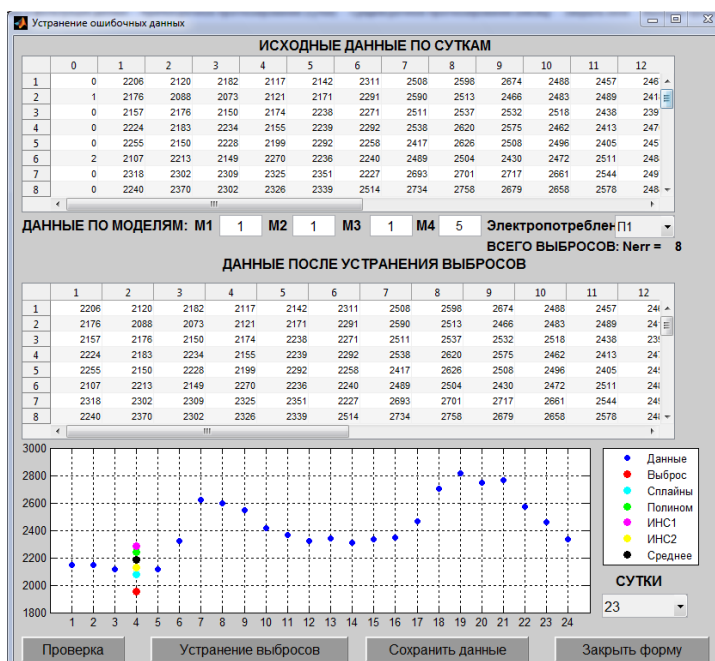


Рис.1. Предварительная статистическая обработка данных

Выбор метода восстановления данных выполняется на основе метода экспертной оценки.

Разработка нейро-нечётких моделей прогнозирования

Анализ исследований по прогнозированию нагрузки показал, что наиболее часто используется выборка, где входными переменными являются значения нагрузок P_i за предшествующие двое суток, для суток недельной давности и средней температуры по часам или по суткам.

Для выполнения исследований на основе методов ТНМ использованы модели типа Сугено пакета Fuzzy Logic Toolbox вычислительной среды MATLAB [15]. Для формирования модели реализован алгоритм, позволяющий получение НМ в два этапа [16,17]:

- 1) синтез НМ с использованием субтрактивной кластеризации или кластеризацией по методу К-средних;
- 2) улучшение модели с использованием *ANFIS* обучения.

Кластеризация - это объединение объектов в группы (кластеры) на основе схожести признаков для объектов одной группы и отличий между группами.

По имеющимся исходным данным синтез нейро-нечётких моделей произведём в первом случае с использованием метода субтрактивной кластеризации, где используется функция **genfis 2**, а во втором – кластеризацией по методу К-средних, с помощью функции **genfis 3**.

В обеих функциях, наиболее влияющим на качество модели параметром является радиус, который определяет насколько далеко от центра кластера могут быть его элементы. Обычно малые значения радиусов приводят к нахождению множества мелких кластеров и, следовательно, к очень детализированной базе нечетких правил. Большие значения радиусов приводят к нахождению всего нескольких крупных кластеров и, тем самым, обеспечивают компактную базу знаний. Однако при этом можно упустить некоторые особенности моделируемой зависимости. В программе разработан алгоритм выбора радиуса по данным ошибок моделирования на выборках.

В результате выполнения кластеризации в первом случае синтезируются нейро-нечёткая модель Сугено, где каждая из входных переменных описывается функциями принадлежности гауссовского типа, а выходная переменная уравнениями линейного типа. Во втором случае синтезируется нейро-нечёткая модель Мамдани, где каждая из входных и выходных переменных описывается функциями принадлежности гауссовского типа.

Для улучшения качества полученных моделей проводится их настройка с помощью адаптивной сети нейро-нечеткого логического вывода (*Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System - ANFIS*). Для этой цели используется функция **anfis**, для которой задаются: обучающая выборка в виде матрицы, исходная НМ первого порядка, вектор параметров настройки, такие как количество итераций обучения, допустимая ошибка обучения, начальная длина шага, коэффициент уменьшения и увеличения шага. При использовании данной функции следует определить количество итераций обучения, в результате которых получается наиболее точная модель. Для этой цели в программе реализован алгоритм, определяющий адекватность нечеткой модели в зависимости от длительности обучения. Результатом является определение количества итераций обучения, при котором ошибка моделирования будет минимальной.

Проверка качества нейро-нечётких моделей

Перед тем, как воспользоваться моделями, необходимо исследовать степень достоверности результатов вычислений сети на контрольной выборке входных векторов. В качестве выборки используется массив данных за последние 2 суток, компоненты которого не чувствуют при формировании моделей. Результаты тестирования представлены на рис. 2. По результатам сравнительного анализа выбирается лучшая модель, у которой максимальное значение ошибки является меньшим.

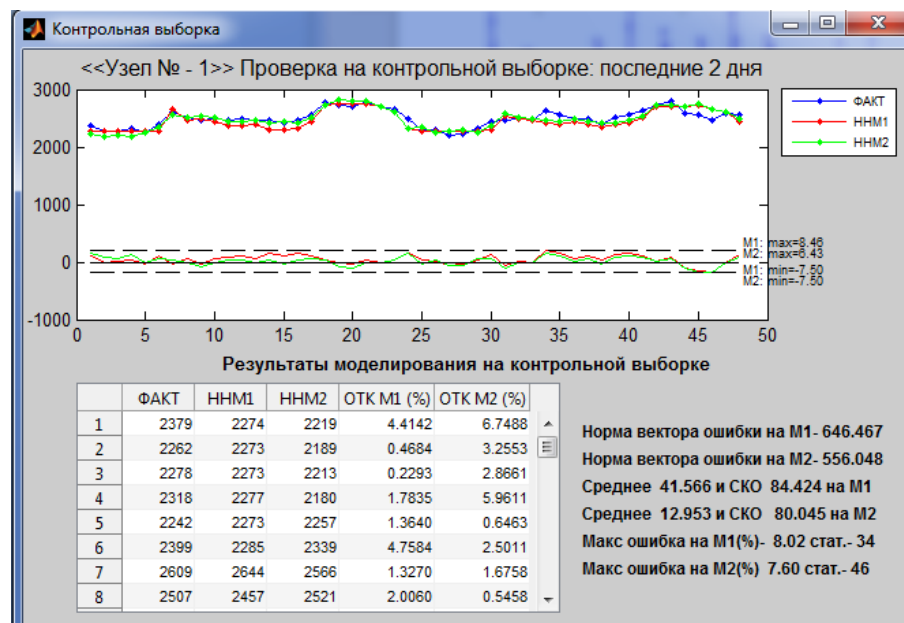


Рис.2. Проверка качества моделей на контрольной выборке

Теперь мы можем использовать полученные модели для прогнозирования электрической нагрузки отдельных энергоузлов. Прогноз изменения нагрузки на следующие 24 часа, по полученным нейро-нечётким моделям представлен на рис.3.

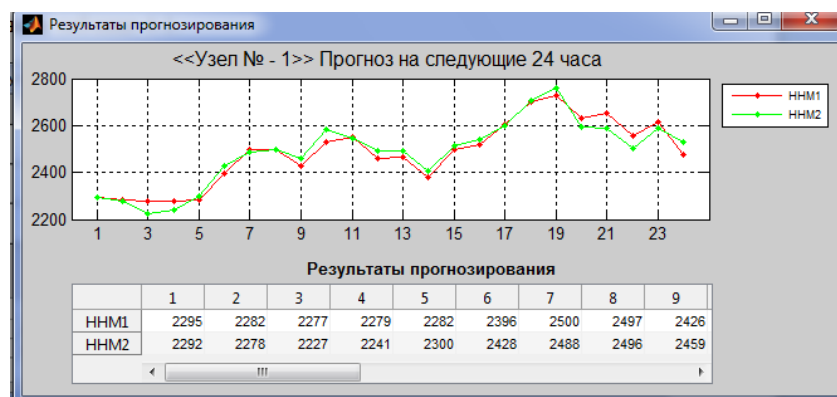


Рис.3. Результаты прогнозирования нагрузки отдельного энергоузла

Разработка и использования программы прогнозирования нагрузок

На основе представленных этапов в среде MATLAB разработана программа (рис.4). В программе имеется возможность рассмотрения изменения графика потребления электроэнергии по дням и по часам, а

также выполнения контроля по значениям суток не использованных при формировании нейро-нечётких моделей.

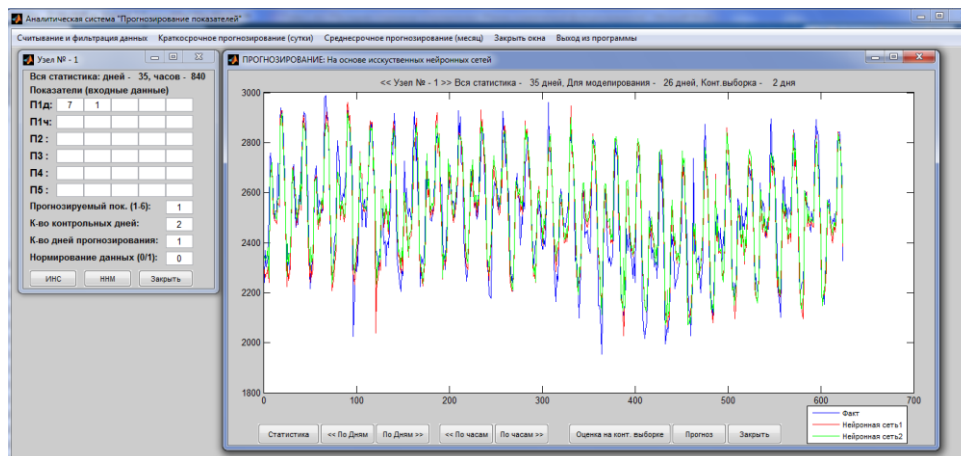


Рис. 4. Программа краткосрочного прогнозирования электропотребления

С использованием данной программы получены модели для различного состава исходных данных, где учитываются недельные и суточные циклы периодичности, а также влияние температуры. В процессе моделирования рассматриваются следующие типы моделей:

- 1) входы: $[P(n-7), P(n-1)]$; выход: $P(n)$;
- 2) входы: $[P(n-3), P(n-2), P(n-1)]$; выход: $P(n)$;
- 3) входы: $[P(n-1), T(n-1)]$; выход: $P(n)$;
- 4) входы: $[P(n-7), P(n-1), T(n-7), T(n-1)]$; выход: $P(n)$;
- 5) входы: $[P(n-3), P(n-2), P(n-1), T(n-3), T(n-2), T(n-1)]$; выход: $P(n)$.

Заключение

На основе представленной программы выполнены необходимые вычисления как с учётом, так и без учёта влияющего фактора.

Как показали результаты проверок на контрольной выборке, лучшие результаты дают модели №1, где максимальная ошибка составляет 7,6 %, и №4 с максимальной ошибкой 8,2 %. Первая построена по данным показателя за предыдущую неделю и сутки $[P(n-7), P(n-1)]$, а вторая дополнительно учитывает влияющий фактор $[P(n-7), P(n-1), T(n-7), T(n-1)]$, т.е. обе модели учитывают суточные и недельные циклы.

Литература

1. Доманов В.И., Билалова А.И. Анализ прогнозирования энергопотребления с различными информационными базами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 4–3. С. 535–537.

2. Кирпичникова И. М., Саплин Л.А., Соломахо К.Л. Прогнозирование объемов потребления электроэнергии// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2014. Т. 14. № 2. С. 16–22.
3. Ахметьянов Р. Р., Делегодина Л. А., Копылова Н. П., Луценко Б. Н., Собстель Г. М., Чейдо Г. П. Мультипликативная модель сезонного энергопотребления предприятий // Автометрия. 2008. Т. 44, № 3. С.106–118.
4. Hong T., Shahidehpour M. Load Forecasting Case Study. National Association of Regulatory Utility Commissioners, 2015. 171 p.
5. Radhakrishnan Angamuthu Chinnathambi, Anupam Mukherjee, Mitch Campion, Hossein Salehfar, Timothy M. Hansen, Jeremy Lin and Prakash Ranganathan. A Multi-Stage Price Forecasting Model for Day-Ahead Electricity Markets. Forecasting 2019, 1(1), 26-46; <https://doi.org/10.3390/forecast1010003>.
6. Jie Wu, Jianzhou Wang, Haiyan Lu, Yao Dong, Xiaoxiao Lu. Short-term load forecasting technique based on the seasonal exponential adjustment method and the regression model. Energy Conversion and Management, Volume 70, June 2013, Pages 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.010>.
7. O. Valenzuela, I. Rojas, F. Rojas, H. Pomares, L.J. Herrera, A. Guillen, L. Marquez, M. Pasadas Hybridization of intelligent techniques and ARIMA models for time series prediction Fuzzy Sets and Systems, 159 (2008), pp. 821-845.
8. H. Chen, C.A. Cañizares, A. Singh. ANN-based short-term load forecasting in electricity markets. in: Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference 2, 2001, pp. 411–415.
9. 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/e3sconf/202021601102.
10. Hongya Xu, Yao Dong, Jie Wu, Weigang Zhao. Application of GMDH to Short-Term Load Forecasting January 2012, In book: Advances in Intelligent Systems (pp.27-32), DOI:10.1007/978-3-642-27869-3_4.
11. Lintao Yang, Honggeng Yang, Haitao Liu. GMDH-Based Semi-Supervised Feature Selection for Electricity Load Classification Forecasting. Sustainability 2018, 10, 217; doi:10.3390/su10010217.
12. D.I. Nabiullin, R.N. Balobanov. Prediction of the electrical load of the power system using neural networks SES-2019, E3S Web of Conferences 124, 05026 (2019) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405026>.

13. Corentin Kuster, Yacine Rezgui, Monjur Mourshed. Electricity and power forecasting models: a critical systematic review February 2020 Logistics & Sustainable Transport 11(1):51-76 DOI:10.2478/jlst-2020-0004.

14. . Афанасьева Т.В, Наместников А.М., Перфильева И.Г., Романов А.А., Ярушкина Н.Г. Прогнозирование временных рядов: нечёткие модели. –Ульяновск, УлГТУ, 145 с.

15. Fuzzy Logic Toolbox Version 2. User's Guide.-The MathWorks, 2018.

16. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. –Москва: «Горячая линия» Телеком, 2007.

17. Штовба С.Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB.// Журнал ExponentaPro.- Москва, №2, 2003 г.

18. Иванин О.А., Директор Л.Б. Применение искусственных-нейронных сетей для прогнозирования энергетических нагрузок обособленных потребителей // Теплоэнергетика. – 2018. –№ 5. – С. 17–26. DOI: 10.1134/S0040363618050041.

19. Карамов Д.Н., Наумов И.В., Пержабинский С.М. Математическое моделирование отказов элементов электрической сети (10 кв) автономных энергетических систем с возобновляемой распределенной генерацией // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. –Т. 329. – № 7. – С. 116–130.

20. Воевода А.А., Романников Д.О. Синтез нейронной сети для реализации рекуррентного метода наименьших квадратов //Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 3 (72). – С. 33–42. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-3-33-42.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.311

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НА
ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОННОЙ СЕТИ****Т.Ф. Махмудов**

Энергетика тизимлари - бу катта нозичиқли тизимлар бўлиб, уларга кўп ҳолларда паст частотали 0,5-2,5 Гц электромеханик тебранишлар таъсир кўрсатади. Электр тизимлари кўпинча тўсатдан юкламалар ўзгариши, қисқа туташув ва бошқалар каби турли хил турткиларга дуч келади. Бу турбинанинг механик қуввати ва генераторнинг электр қуввати ўртасидаги нобалансга олиб келиши мумкин. Бу эса генератор тезлигининг синхрон тезлигидан фарқ қилишига ва уни синхронизмдан чиқишига сабаб бўлади. Катта юкланиш шароитида ҳамда бир ёки бир нечта узатиш линиялари узилиб қолганда тизим частотаси етарлича демпферланмаслиги мумкин. Бундай ҳолда, ҳатто кичик турткилар ҳам синхрон машинани тебранишига олиб келиши мумкин. Катта энергетик тизимларда бир вақтнинг ўзида икки турдаги электромагнит ва электромеханик тебранишлар содир бўлиши мумкин. Локал режим деб аталадиган биринчи ҳолда, генератор тебраниш частотаси билан тизимнинг қолган қисмига нисбатан тебранади. Бу вақтда частотанинг тебраниши 0,8-2,0 Гц оралиғида бўлади. Тизимлараро режим деб номланган иккинчи ҳолда, ўзаро боғлиқ тизимнинг бир қисмидаги бир нечта генераторлар тизимнинг бошқа қисмидаги машиналарга нисбатан 0,4-0,8 Гц частота оралиғида тебранади. Энергетика тизими стабилизаторлари (Power System Stabilizers - PSS) кўп ҳолларда генераторлардаги электромеханик тебранишларни сўндириш ҳамда тизимнинг статик турғунлигини ошириш учун самарали восита сифатида ишлатилинади. Тизим стабилизаторлари қўзғатишни автоматик ростлаш тизимининг каналларидаги стабиллаш сигналени қўйиш орқали электр энергияни узатиш турғунлиги чегараларини кенгайтириши мумкин. Мақолада электр энергетика тизимларининг турғунлигини ошириш учун ноаниқ мантиққа эга тизим стабилизатори асосида нейрон тармоқни ўрганиш натижалари келтирилган. Ноаниқ мантиқ контроллери учун кириш маълумотлари сифатида синхрон генератор роторининг тезлик ва тезланишининг оғиши қабул қилинган. Ушбу ўзгарувчилар ротор валидаги тебраниш сўнишига сезиларли даражада таъсир қилади. Ноаниқ мантиққа асосланган тизим стабилизаторининг хусусиятлари оптималлаштирилмаган параметрларга эга тизим стабилизаторининг хусусиятлари билан ҳамда тизимда стабилизатор бўлмаган ҳолатлар билан солиштириш амалга оширилди.

Энергетические системы представляют собой большие нелинейные системы, которые часто подвергаются низкочастотным электромеханическим колебаниям 0,5-2,5 Гц, в том числе различным возмущениям, таким как внезапные изменения нагрузки, короткие замыкания и т.п. Это может привести к нарушению баланса между механической мощностью турбины и электрической мощностью генератора, что приведет к отклонениям скорости генератора от синхронной и выходу его из синхронизма. В условиях большой нагрузки или при отключении одной или нескольких линий передачи, собственная частота колебаний системы может быть недостаточно демпфирована. В этом случае даже небольшие возмущения могут вызвать колебания синхронной машины. В больших энергосистемах одновременно могут возникать два различных типа колебаний: электромагнитные и электромеханические. В первом случае, называемом локальным режимом, генератор колеблется относительно остальной системы с частотой колебаний, обычно в диапазоне 0,8–2,0 Гц. Во втором случае, называемом межсистемным режимом, несколько генераторов в одной части взаимосвязанной системы качаются относительно машин в другой части системы в частотном диапазоне 0,4–0,8 Гц. Стабилизаторы энергосистем (Power System Stabilizers - PSS) часто используются как эффективные средства для гашения электромеханических колебаний генераторов и повышения устойчивости энергосистем. Системные стабилизаторы могут расширить пределы устойчивости электропередачи путем добавления сигнала стабилизации по каналам системы автоматического регулирования возбуждения. В статье приведены результаты обучения нейронной сети, на основе которой получен системный стабилизатор с нечеткой логикой для повышения устойчивости электроэнергетических систем. В качестве входных данных для контроллера нечеткой логики были приняты отклонение скорости и ускорение ротора синхронного генератора. Эти переменные существенно влияют на демпфирование колебаний на валу ротора. Проведено сравнение характеристик полученного системного стабилизатора на основе нечеткой логики с характеристиками системного стабилизатора с не оптимизированными параметрами и без системного стабилизатора.

Power systems are large non-linear systems that are often subject to low frequency electromechanical vibrations of 0.5-2.5 Hz. Power systems are often subject to various disturbances such as sudden load changes, short circuits, etc. This can lead to an imbalance between the mechanical power of the turbine and the electrical power of the generator, which will lead to deviations of the generator speed from the synchronous speed and out of synchronism. Under heavy load conditions or when one or more transmission lines are discon-

nected, the natural frequency of the system may not be sufficiently damped. In this case, even small disturbances can cause the synchronous machine to vibrate. In large power systems, two different types of oscillations, electromagnetic and electromechanical, can occur simultaneously. In the first case, called the local mode, the generator oscillates relative to the rest of the system with an oscillation frequency, usually in the range 0.8–2.0 Hz. In the second case, called intersystem mode, several generators in one part of an interconnected system swing relative to machines in another part of the system in the frequency range of 0.4–0.8 Hz. Power System Stabilizers (PSS) are often used as an effective means of dampening electromechanical oscillations in generators and increasing the stability of power systems. System stabilizers can expand the transmission stability limits by adding a stabilization signal through the channels of the automatic excitation control system. The article presents the results of training a neural network, on the basis of which a system stabilizer with fuzzy logic was obtained to increase the stability of electric power systems. The speed deviation and the rotor acceleration of the synchronous generator were taken as input data for the fuzzy logic controller. These variables significantly affect the vibration damping on the rotor shaft. The characteristics of the obtained system stabilizer based on fuzzy logic are compared with the characteristics of a system stabilizer with non-optimized parameters and without a system stabilizer.

Введение. В настоящее время автоматические регуляторы возбуждения сильного действия (АРВ) используются практически на всех синхронных генераторах. Известно, что, хотя АРВ необходимы для поддержания номинального напряжения на выводах генератора и в системе, быстродействующие АРВ с большими коэффициентами усиления могут вносить отрицательное демпфирование в систему управления возбуждением [1, 2].

Основными задачами этой статьи являются:

1. Представить системный подход к проектированию многослойной искусственной нейронной сети на основе самонастраивающейся PSS.
2. Предложить подход к выбору количества нейронов в скрытом слое.
3. Получить функции принадлежности входов и выхода на основе данных, полученных посредством обученной нейронной сети.
4. Изучить динамические характеристики системы с полученным регулятором PSS.

Методы. Новые методы настроек регуляторов возбуждения, такие как нечеткая логика и искусственные нейронные сети, используются при проектировании так называемых умных сетей (Smart Grid) [3].

Нечеткая логика является наиболее подходящей к синтезу регуляторов на основе качественной информации о системе. Кроме этого, регуля-

торы с нечеткой логикой не требуют знания полной математической модели исследуемой системы. Применяя нечеткую логику возможно использовать экспертные оценки и человеческий опыт при разработке контроллера. Правила нечеткого управления, в основном правила «Если-То», могут быть лучше всего использованы при синтезе регулятора [4, 5].

Искусственная нейронная сеть - это мощный инструмент, который может определять нелинейные связи между входом и выходом. Контроллеры на основе нейронных сетей получили широкое распространение, особенно за счет их мощных способностей обучения, возможностей оптимизации и адаптации [6].

Модель структуры PSS. Локальные и межсистемные колебания можно гасить, вводя дополнительный сигнал с PSS по каналам системы возбуждения синхронного генератора. Дополнительный управляющий сигнал, действующий через АРВ, может значительно улучшить демпфирование колебаний ротора [7].

Выходной сигнал АРВ основан на разнице изменения напряжения между уставкой опорного напряжения генератора и фактической величиной напряжения на клеммах генератора. Большая индуктивность обмотки возбуждения вызывает задержку магнитного потока машины и, следовательно, изменения напряжения на клеммах [8-10].

Отрицательный эффект демпфирования быстродействующих АРВ с высоким коэффициентом усиления и временная задержка в цепи возбуждения также могут быть уменьшены путем использования PSS [11].

На рис. 1 показана блок-схема системы возбуждения, включая АРВ и PSS. Системный стабилизатор на рис. 1 состоит из трех блоков: блока фазовой компенсации, изодромного звена и блока усиления [12].

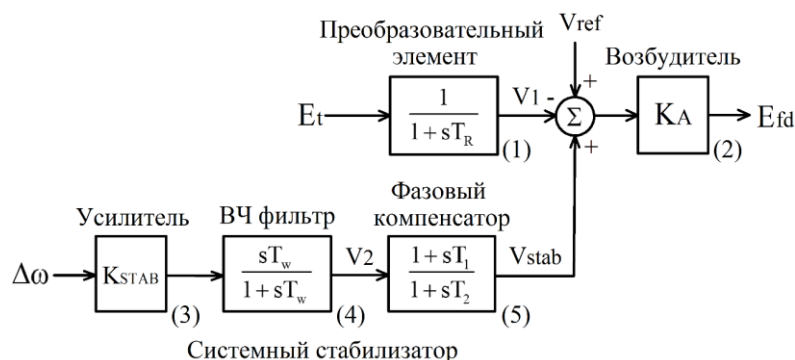


Рис.1. Тиристорная система возбуждения с АРВ и системным стабилизатором

Блок фазовой компенсации обеспечивает соответствующую характеристику опережения фазы для компенсации отставания по фазе между входом возбудителя и электрическим крутящим моментом генератора. На

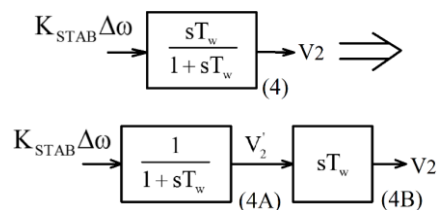
рис. 1 показана только одна передаточная функция первого порядка. На практике могут использоваться два или более звеньев первого порядка для достижения желаемой фазовой компенсации [2, 13].

Изодромное звено служит фильтром верхних частот с постоянной времени T_w . Без этого звена постоянные изменения скорости меняли бы напряжение на клеммах генератора [14].

Коэффициент усиления стабилизатора K_{STAB} определяет величину демпфирования, вносимого PSS. В идеале коэффициент усиления должен быть установлен на значение, соответствующее максимальному затуханию колебаний; однако это часто ограничивается другими соображениями, например, возможностью ограничить выходной сигнал с PSS от подавления форсирования системы АРВ во время переходных режимов. Предел положительного выходного сигнала стабилизатора устанавливается на относительно большое значение в диапазоне от 0,1 до 0,2 о.е. Это обеспечивает высокий уровень демпфирования PSS во время больших колебаний после коротких замыканий и асинхронного режима. С другой стороны, минимальный допустимый предел выходного сигнала находится в интервале от - 0,05 до - 0,1 о.е. Это определяет достаточный диапазон регулирования, обеспечивая при этом удовлетворительную переходную характеристику [15].

Входным сигналом PSS может быть либо отклонение скорости вращения ротора $d\omega$, либо ускорение $\alpha = \frac{d\Delta\omega}{dt} = P_T - P_G$ (разность между механической мощностью турбины и электрической мощностью генератора). В некоторых случаях используется их комбинация. Выходной сигнал PSS используется как дополнительный вход (V_{stab}) в систему возбуждения [16].

Блок 4 можно рассматривать как блок, состоящий из двух составляющих [17]:



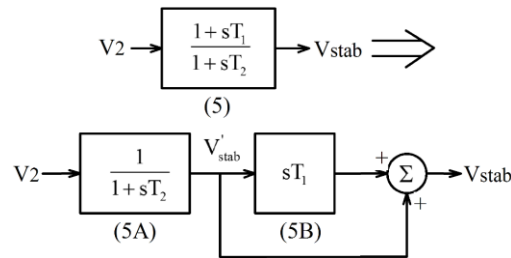
В этом случае переменная состояния $\Delta V_2'$ примет вид:

$$p\Delta V_2' = \frac{1}{T_w} (K_{STAB} \Delta\omega - \Delta V_2'),$$

а выход ΔV_2 блока определяется выражением:

$$\Delta V_2 = T_w p\Delta V_2' = K_{STAB} \Delta\omega - \Delta V_2'.$$

Аналогично, блок 5 можно рассматривать следующим образом:



В этом случае переменная состояния V'_{stab} примет вид:

$$p\Delta V'_{stab} = \frac{1}{T_2}(\Delta V_2 - \Delta V'_{stab}),$$

а выход ΔV_{stab} блока определяется выражением:

$$\Delta V_{stab} = T_1 p \Delta V'_{stab} + \Delta V'_{stab} = \frac{T_1}{T_2} \Delta V_2 + \left(1 - \frac{1}{T_2}\right) \Delta V'_{stab}.$$

Модель электрической системы. Схема исследуемой электрической системы (рис. 2) представляет из себя простейшую электропередачу, состоящую из генератора, двух силовых трансформаторов, а также двух параллельных линий передачи.

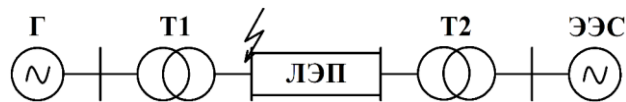


Рис.2. Схема электрической системы

Линеаризованные уравнения простейшей электроэнергетической системы (ЭЭС) при наличии на синхронном генераторе автоматических регуляторов возбуждения пропорционального или сильного воздействия имеют вид [4, 18]:

- уравнение относительного движения ротора синхронной машины:

$$T_j(d^2\Delta\delta/dt) = P_T - P_\Gamma - P_d(d\Delta\delta/dt);$$

- уравнение переходных процессов в обмотке возбуждения:

$$T_{d0}(\Delta E'_q/dt) = \Delta E_{qe} - \Delta E_q;$$

- уравнение в обмотке возбуждения возбудителя:

$$T_e(\Delta E_{qe}/dt) = k_e \Delta e - \Delta E_{qe};$$

- уравнение усилительного элемента:

$$T_y(\Delta e/dt) = k_y \Delta u - \Delta e;$$

- уравнение измерительного элемента:

$$T_{и}(d\Delta u/dt) = k_u \Delta u_\Gamma - \Delta u;$$

- уравнение, отражающее влияние АРВ:

$$\Delta e = \sum_j (k_{опj} \Delta \Pi_j + k_{ипj} (d\Delta \Pi_j / dt) + k_{2пj} (d^2 \Delta \Pi_j / dt^2));$$

здесь - T_j , T_{d0} , T_e , T_u , T_{II} – постоянные инерции агрегата, постоянные времени, соответственно - обмотки возбуждения при разомкнутой обмотке статора, возбудителя, усилительного элемента, преобразовательного и измерительного элементов ($T_{II} = T_{II}$); $\Delta\delta$, $\Delta E'_q$, ΔE_q , ΔE_{qe} , Δe , Δu , Δu_r – отклонения угла нагрузки, переходной э.д.с., э.д.с. холостого хода, э.д.с. на кольцах ротора, напряжения на обкладках возбудителя и напряжения на шинах генератора; ΔP_j – параметры режима, по которым осуществляется регулирование возбуждения генератора; P_d – демпферный коэффициент; k_{0pj} , k_{1pj} , k_{2pj} – коэффициенты усиления по каналам регулирования АРВ, соответственно – по отклонению, по первым и вторым производным параметров режима. Отклонения регулируемых параметров режима генератора или системы определяются по соотношению [19]:

$$\Delta P_j = (dP_j/d\delta)\Delta\delta + (\Delta P_j/dE_q)\Delta E_q.$$

В приведенных результатах расчета синхронный генератор (Г) мощностью 200 МВт работает параллельно с ЭЭС через две параллельные линии электропередачи 220 кВ, протяженностью 150 км. Синхронный генератор оснащен регулятором скорости турбины и базовой системой АРВ сильного действия.

Обучение нейронной сети. Процесс обучение нейронной сети проводился на основе выборки, содержащей 180 значений взаимосвязи входных сигналов и выхода с помощью программного комплекса Matlab. Из общей выборки 15% было выделено для валидации и тестирования обученной нейронной сети. При этом начальная выборка была получена на основе экспертной оценки, взаимосвязи входных параметров PSS с его выходом в виде напряжения стабилизации.

Для выбора оптимального количества скрытых нейронов при обучении нейронной сети получена зависимость (рис. 3) величины среднеквадратичной ошибки при изменении количества скрытых нейронов от 0 до 80.

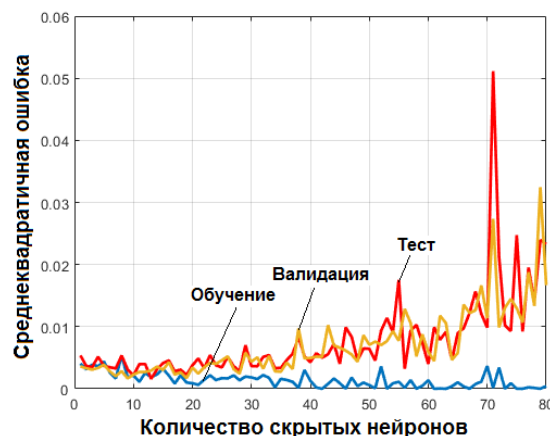


Рис.3. Величина среднеквадратичной ошибки в зависимости от количества скрытых нейронов

Как видно из рис. 3, увеличение количества нейронов свыше 20 приводит к значительному повышению среднеквадратичной ошибки валидации и тестирования.

Таким образом, для окончательного обучения нейронной сети было выбрано 18 скрытых нейронов. При этом, как видно из рис. 4, наилучший результат валидации был достигнут за 12 эпох обучения.

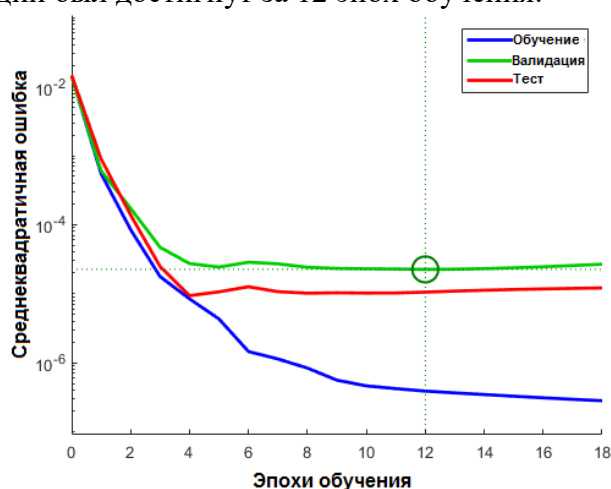


Рис. 4. Результаты обучения нейронной сети

Далее обученная нейронная сеть была использована для получения зависимостей входов (изменений скорости и ускорения) и выхода (напряжения стабилизации) в более широком интервале значений для получения функций принадлежности, а также формирования базы правил нечеткого регулятора. Таким образом на основе обученной нейронной сети было получено дополнительно 322 значений взаимосвязи входов и выхода PSS.

На рис. 5 показана структура пятислойной адаптивной сети на основе системы нечеткого вывода ANFIS (adaptive neuro-fuzzy inference system), в которой приведена взаимосвязь входов и выхода в соответствии с базой правил.

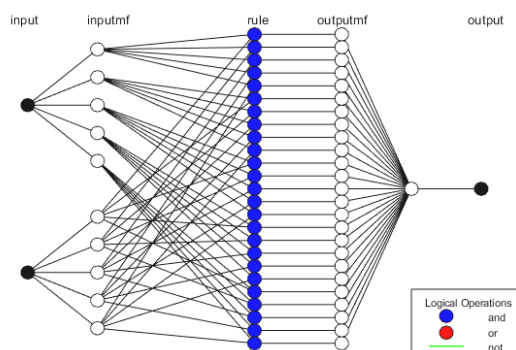


Рис.5. Структура модели ANFIS

Контроллер нечеткой логики. Структура формирования Fuzzy логического контроллера показана на рис. 6 [20].

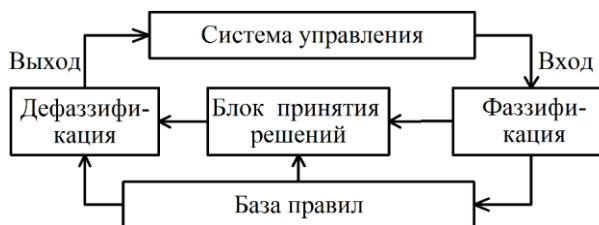


Рис.6. Структура Fuzzy логического контроллера

Процесс формирования нечеткого контроллера производится следующим образом [2, 21].

Под **фаззификацией** понимают процесс преобразования входных переменных в подходящие лингвистические переменные с подходящей функцией принадлежности. В качестве входных переменных использовались изменение отклонения скорости ротора ($d\omega$) и ускорения (α), а выходная переменная - стабилизирующее напряжение PSS (V_{stab}).

Будем использовать следующие обозначения в качестве лингвистических переменных: NB (отрицательная большая), NS (отрицательная маленькая), Z (ноль), PS (положительная маленькая), и PB (положительная большая). На рис. 7-9 показаны полученные функции принадлежности входов и выходы на основе обученной нейронной сети.

В данной работе были использованы функции принадлежности в виде треугольника (*trimf*), которые задаются следующей аналитической формулой [3, 16]:

Параметры треугольной функции принадлежности обычно интерпретируются так [21]: $[a, c]$ – диапазон изменения переменной; b – наиболее возможное значение переменной.

Функция **trimf** имеет два входных аргумента [22]:

1) x – вектор, для координат которого необходимо рассчитать степени принадлежности;

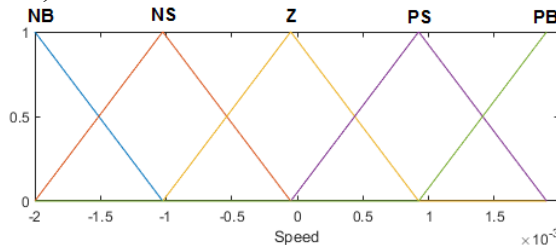
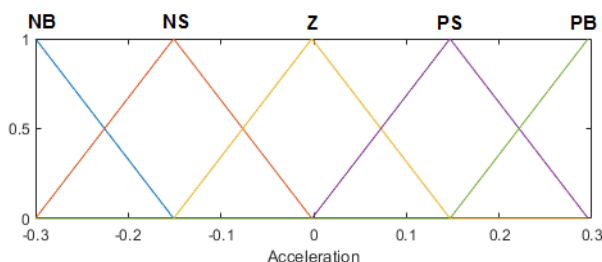
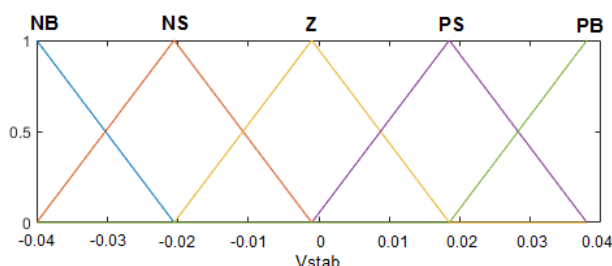


Рис.7. Функции принадлежности отклонения скорости ($d\omega$)

Рис.8. Функции принадлежности ускорения (α)Рис.9. Функции принадлежности напряжения стабилизации (V_{stab})

2) **params** – вектор параметров функции принадлежности. Порядок задания параметров – $[a \ b \ c]$. Параметры функции принадлежности должны удовлетворять условию $a \leq b \leq c$.

База правил. Здесь обработка нечетких данных выполняется по набору определенных правил. При разработке правил можно использовать экспертную оценку [22], при этом полученные выше значения взаимосвязей были использованы для получения функций принадлежности и базы правил с помощью функции **genfis** программы Matlab. База правил, используемая для нечеткого контроллера, приведена в табл. 1. Например, если отклонение скорости составляет NB, а ускорение равно PS, то выходным значением является NS.

Таблица 1

База правил Fuzzy контроллера					
Изменение скорости ($d\omega$)	Ускорение (α)				
	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	NS
NS	NB	NB	NS	NS	Z
Z	NS	NS	Z	PS	PS
PS	NS	Z	PS	PS	PS
PB	Z	PS	PB	PB	PB

Механизм вывода. Происходит обработка входных сигналов и генерируется выходной сигнал на основе базы правил.

Дефазификация. На этом этапе лингвистические переменные преобразуются в четкие переменные.

Результаты. Проанализируем работу PSS, построенного на базе нечеткого контроллера и сравним его характеристики в случае отсутствия на генераторе системного стабилизатора, а также с не оптимизированным PSS, имеющим следующие параметры (рис. 1): $K_A=150$; $T_R=0.03$; $K_{stab}=10$; $T_w=1.5$ сек.; $T_1=0.15$ сек.; $T_2=0.03$ сек.

В качестве внешнего возмущения будем моделировать трехфазное короткое замыкание (отмечено на рис. 2), произошедшее в начале двух параллельных линий, продолжительность короткого замыкания составит 0,02 сек.

На рис. 10 представлены характеристики изменения углов нагрузки $\Delta\delta$ синхронного генератора (Г), при установке различных регуляторов.

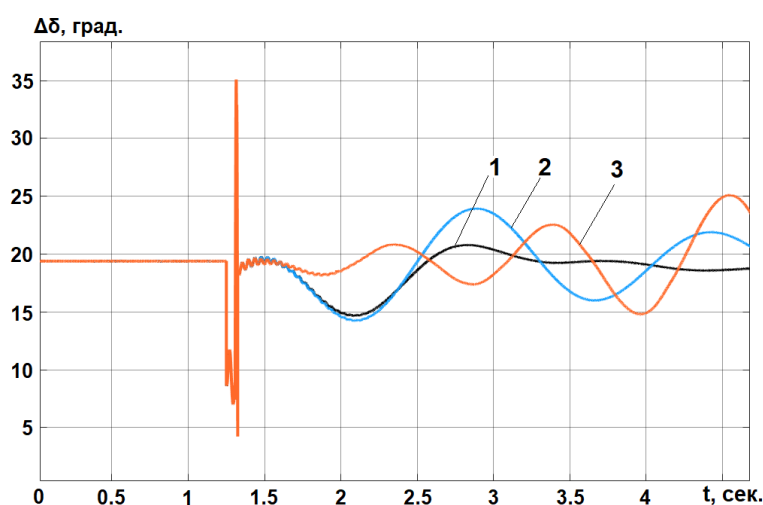


Рис. 10. Характеристики изменения углов нагрузки синхронного генератора: 1 – PSS на основе нечеткой логики; 2 – PSS с не оптимизированной настройкой; 3 – PSS отсутствует

Обсуждение. Из рис. 10 очевидно, что системный стабилизатор, построенный на основе нечеткой логики (кривая 1), достаточно эффективно подавляет колебания во время переходного процесса. В то же время PSS без надлежащей настройки (кривая 2) также способствует демпфированию колебаний, но время затуханий колебаний здесь значительно больше. В отсутствии системного стабилизатора (кривая 3) колебания угла являются незатухающими во времени, что означает выход системы за пределы устойчивости и, в дальнейшем, переход генератора в асинхронный режим работы.

Выводы. Основные цели при проектировании регуляторов PSS для управления возбуждением синхронных генераторов заключаются в следующем:

- максимизация демпфирования локальных и межсистемных колебаний;
- повышение пределов устойчивости электроэнергетических систем;
- предотвращение негативных воздействия на работу электрических систем во время больших возмущений;
- минимизация последствий выхода из строя системы возбуждения из-за отказов ее элементов.

Полученный системный стабилизатор на основе метода нечеткой логики и нейронной сети обеспечивает эффективное гашение электромагнитных колебаний в энергосистеме.

При этом построенный регулятор является робастным к действию параметрических и структурных возмущений и способен функционировать в широком диапазоне режимов работы системы.

Литература

1. Allaev K.R., Fedorenko G.M., Postnikov V.I., Ostapchuk L.B. Asynchronous generators as power system's natural dampers // 43rd International Conference on Large High Voltage Electric Systems, CIGRE, Paris, France, 2010, pp. 1-9.
2. Kundur P. Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc., 1994, 1176 p.
3. Ngoc-Khoat Nguyen Intelligent Power System Stabilizers using Fuzzy Logic Technique and Sliding Mode Control Strategy // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019, Vol. 8, Iss. 10, pp. 115–120.
4. Jalayer R. and Ooi B., Co-Ordinated PSS Tuning of Large Power Systems by Combining Transfer Function-Eigenfunction Analysis (TFEA), Optimization, and Eigenvalue Sensitivity // IEEE Transactions on Power Systems, 2014, vol. 29, no. 6, pp. 2672-2680, doi: 10.1109/TPWRS.2014.2314717.
5. Jalaluddin Mohamed, Saikumar H.V. & Bansilal Design and performance evaluation of accelerating power based fuzzy logic power system stabilizer // International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEER), 2014, Vol. 4, Issue 2, pp. 369-378.
6. Allaev K., Makhmudov T. Research of small oscillations of electrical power systems using the technology of embedding systems // Electrical Engineering, 2020, 102(1), pp. 309–319. <https://doi.org/10.1007/s00202-019-00876-9>.
7. Jebali M., Kahouli O. & Hadj Abdallah H. Optimizing PSS parameters for a multi-machine power system using genetic algorithm and neural network techniques // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2017, no. 90, pp. 2669–2688. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9547-7>.

8. Gu W. Commissioning generator AVR, PSS and model validation // IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2015, pp. 669-673, doi: 10.1109/CCECE.2015.7129354.
9. Chitara D., Niazi K.R., Swarnkar A. and Gupta N. Cuckoo Search Optimization Algorithm for Designing of a Multimachine Power System Stabilizer // IEEE Transactions on Industry Applications, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 3056-3065, doi: 10.1109/TIA.2018.2811725.
10. Hiyama T., Oniki S. and Nagashima H. Evaluation of advanced fuzzy logic PSS on analog network simulator and actual installation on hydro generators // IEEE Transactions on Energy Conversion, 1996, vol. 11, no. 1, pp. 125-131, doi: 10.1109/60.486586.
11. Anderson P.M., Fouad A.A. Power system control and stability, Second edition, Wiley-Interscience A John Wiley & Sons Inc, USA, 2002, 664 p.
12. Kashki M., Abido M.A. & Abdel-Magid Y.L. Power System Dynamic Stability Enhancement Using Optimum Design of PSS and Static Phase Shifter Based Stabilizer // Arabian Journal for Science and Engineering, 2013, Vol. 38, pp. 637–650. <https://doi.org/10.1007/s13369-012-0325-z>.
13. Ray P.K. et al. A Hybrid Firefly-Swarm Optimized Fractional Order Interval Type-2 Fuzzy PID-PSS for Transient Stability Improvement // IEEE Transactions on Industry Applications, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 6486-6498, doi: 10.1109/TIA.2019.2938473.
14. Allaev K., Makhmudov T. Analysis of small oscillations of complex electrical systems // Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), vol. 216, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601097>.
15. Tejaswita Khobaragade and Amol Barve Enhancement of Power System Stability Using Fuzzy Logic Controller // International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering, 2012, 1(2), pp. 71-80.
16. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and control, 1965, Vol. 8, pp. 338-353.
17. Vandana Bakolia, Joshi S.N. Design and Analysis of Fuzzy Logic based Power System Stabilizer // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2020, Vol. 9. Issue 08, pp. 1-7.
18. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Матричные методы анализа малых колебаний электрических систем. – Ташкент: Fan va texnologiya. 2016. – 432 с.
19. Murali D. Comparison of Adaptive Neuro-Fuzzy based PSS and SSSC Controllers for Enhancing Power System Oscillation Damping // MSE JOURNALS –2016-Series: Advances C; Vol. 71; №1, pp 24-38.
20. Sreedivya K.M., Jeyanthi P.A. and Devaraj D. An Effective AVR-PSS Design for Electromechanical Oscillations Damping in Power System // IEEE International Conference on Clean Energy and Energy Efficient Elec-

tronics Circuit for Sustainable Development (INCCES), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/INCCES47820.2019.9167703.

21. Lu S. et al. Parameter Tuning and Simulation Analysis of PSS Function in Excitation System with Suppression of Low Frequency Oscillation // IEEE 8th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2019, pp. 474-479, doi: 10.1109/APAP47170.2019.9224931.

22. Sorrentino E. and León F. Comparison among typical input signals of different types of Power System Stabilizers (PSS) // 10th IEEE Andean Conference, Technology and Innovation ANDESCON 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272090.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

UDC 620.97

IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC FUNDAMENTALS AND PRACTICAL TOPICS INTO A TRADITIONAL ENGINEERING LAB**Tyukhov Igor, Okamoto Nicole, Sanchez Jesus, Semahegn Samuel**

Maqolada an'anaviy issiqlik muhandislik laboratoriyasida fotoelektrik fundamental va amaliy mavzularni tatbiq etishga bag'ishlangan Lab Innovations with Technology (LIT) loyihasi natijalarini taqdim etamiz. To'rt laboratoriya stantsiyasi San-Xose davlat universiteti mashinasozlik fakulteti talabalariga quyosh xujayralari, quyosh modullari, fotoelektrik tizimlarning elektr qismlariga e'tibor berish uchun yaratilgan. Natijada, talabalar ekologik toza elektr energiyasini ishlab chiqarish texnologiyasining asosiy tamoyillari va ishlash parametrlari va xususiyatlari to'g'risidagi ma'lumotlarga ega bo'ladilar.

В статье представлены результаты проекта Lab Innovations with Technology (LIT), посвященного внедрению фундаментальных и практических вопросов использования фотоэлектрических технологий в традиционную лабораторию инженерной теплотехники. Четыре лабораторных стенда были созданы для обучения студентов кафедры «Машиностроение» Государственного университета Сан-Хосе с упором на солнечные элементы, солнечные модули, электрические и электронные компоненты фотоэлектрических систем. В результате студенты изучают основные принципы, рабочие параметры и характеристики быстрорастущей экологически чистой технологии производства электроэнергии.

This is a presentation of the results of a Lab Innovations with Technology (LIT) project devoted to an implementation of photovoltaic (PV) fundamentals and practical topics into a traditional thermal engineering lab. The four lab stations were created to teach students of the Mechanical Engineering Department at San Jose State University about solar cells, solar modules and electrical and electronic components of PV systems. As a result, students understand the main principles and performance parameters and characteristics of the fast-growing clean electricity generation technology.

1. Introduction, main goals and motivation

We live now in an energy transition era, which refers to the global energy sector's shift from fossil fuel-based systems of energy production and

consumption — including oil, natural gas and coal — to renewable energy sources like wind and solar, as well as new energy saving technology [1].

Over the last ten years, the solar energy industry in the United States has grown by an average rate of 49%/year, and from 2012 to 2019 the number of American solar energy workers more than doubled [2]. The PV industry employed almost 3.4 million people in 2017, which was a 9% increase over the previous year [3]. The International Energy Agency predicts an addition of an average of 125 GW of worldwide capacity of solar power every year from 2021-2025 [4]. Clearly, the need for workers who are proficient in solar system design is only going to increase.

Many universities have thus set up programs for training students in the area of solar energy. In recent years, there has been a trend toward virtual and remote labs [5]. These kinds of labs are quite cost-efficient and allow for large numbers of students to be educated. For example, Kim [6] and Shcherbakov et al. [7] set up remote lab experiments, where students collect real-time data on their computers to analyze. Dursun [8] used augmented reality to train a lot of students learning about a solar energy installation quickly. And Abichandani et al. [9] used a cloud-based virtual reality system to teach first-year engineering students about virtual reality.

While there certainly are benefits to these kinds of educational practices, hands-on experiences have documented benefits. Research literature supports the idea that students' performance in STEM classes improves when they engage in hands-on learning. For example, Steger et al. [10] found that compared to simulated experiments, students had significantly improved performance when they engaged in hands-on activities focused on learning battery basics. And Zeluff [11] documented the benefits of using hands-on activities to teach alternative energy topics.

The philosophy of education of the future is formed on the basis of the idea of what life and professions will be like. The transition to a new technological structure implies a qualitative redesigning of society and the economy, which will lead to a large-scale transformation of the labor market; this transformation will necessitate major changes in the existing educational landscape. The novelty of the philosophy of education lies in the understanding that this sphere has ceased to be a conservative area of human activity. The next two decades will be an era of radical changes in education: it will not only change the educational system itself but the industries adjacent to it, coming with a change in the technological structure.

California plans to increase their use of renewable sources and has approved a measure requiring all energy used in the Sunshine State to be from renewable sources by 2045. More and more engineering student senior projects are devoted to solar energy, reflecting the general trend - shifting energy generation to solar (renewable energy). More traditional text books like Thermodynamics [12] and Heat and Energy Transfer - main text books for our ME115

Thermal Engineering Laboratory - include topics, problems and chapters covered solar energy conversion. Clearly, there is a need for hands-on education to help students develop a deep understanding of solar energy concepts. And in this time of limited university budgets, it is beneficial to have hands-on labs that are low cost as well as portable. Portable lab setups allow lab spaces to be used for a variety of purposes, and they also allow different departments within the university to use the same lab experiments. Das [13] developed a useful experimental set, but he used small solar cells, suitable more for a mechatronics class; there is also a need to show more powerful demonstrations. In our approach we decided to show students real size solar cells and to include practical devices with an opportunity for students to learn about and use design of experiments (DOE). Previous experience of one co-author showed the importance of this work for several research and education institutions [14].

Since renewable energy and solar energy in particular has become so important, the department is adding an experiment covering fundamental solar energy topics to their ME115 Thermal Engineering Laboratory course. ME115 is a laboratory course required for all SJSU Mechanical Engineering students (usually juniors). Experiments cover basic traditional topics, including Rankine cycle power generation, internal combustion engines, air conditioners, piping networks, heat exchangers, and others. Students usually work in groups of four, and the total number of students per lab section is sixteen. As a result, four new lab stations were created for ME115 Thermal Engineering Lab.

Thus, the objective of this work has been to design and build low-cost portable solar lab experiments so students can gain hands-on experience in solar energy. With the new lab setup, students are able to have a practical introduction to a direct method of converting solar energy radiation to electricity and PV system characterization. Our approach demonstrates the main aspects of photovoltaics from solar cells to solar modules and photovoltaic systems.

1. Design of lab stations

PV systems are designed around the solar cells (SCs), so it is important to show students how much energy modern SCs can generate. The first lab station, designed to study fundamentals of photovoltaic energy conversion and SCs, is shown at Fig. 1 (left). The second has similar functions, but it has an additional opportunity to do angular measurements and to study bifacial SCs (Fig.1, right). Traditional solar modules convert light to electricity using SCs on the top side of the panels. Solar modules based on bifacial SCs, which can accept reflected radiation from the rear side, are becoming more and more popular, so studying of this type of SCs is in the modern trend.

Sets of two non-encapsulating SCs, covered by a Plexiglas frame with separate terminals for each SC, were created. This setup allows students to

study p-Si and m-Si SCs and SCs from SunPower Co. without frontal contacts (shown in Fig.1). They also allow SCs of other producers, such as those based on CIGS (Copper Indium Gallium Diselenide) to be studied.

Two halogen lamps fixed using a mechanical frame allow students to change irradiance by three ways: changing the distance between the lamps and SCs, changing the lamp voltage (and hence temperature) using an autotransformer applied to the lamps, and switching the number of lamps. The central parts of two lab stations are detachable and allow users to take off the set with the SCs and measuring devices for the purpose of calibrating SCs under solar radiation for field experiments. For example, at SJSU students can bring the setup out to part of our building roof where a lot of solar experiments are located. For control of the radiation level and for measuring solar power and calibration of SCs under real solar radiation, the solar power meter TM207 TENMARS is used.

A soldering station with integrated iron, hot air gun (for rework station) and DC power supply unit makes it possible to teach students practical skills like soldering contacts to SCs and creating small SMs and also to demonstrate thermal characteristics of SCs and SMs heating samples by hot air gun. The DC supply unit is used to measure dark I-V curves when SC or SM covered by opaque screen. Dark I-V curve, is the easiest way to estimate the quality of the p-n junction and the grid and contact resistances [15].



Fig.1. Lab station 1 (left) for studying fundamentals of photovoltaic energy conversion and the solar cells and lab station 2 (right) with additional opportunity to do angular measurements and to study bifacial SCs

Lab stations 3 and 4 are designed to teach the basics of PV autonomous systems (Fig. 2). The third lab station has one movable 500 W quartz halogen work light. In this case, intensity of illumination can be changed by voltage and by distance. The fourth lab station has four 360 W lamps, which are fixed on a frame, and which can be switched on and off separately to provide different illumination levels of the solar module (SM). The frame is designed using 80/20 T-slot aluminum profiles, or bars, that have channels used to connect

other bars and parts like lamps, fans for cooling lamps, switchers, DC and AC LED loads [16].



Fig. 2. Lab station 3 (left) and 4 (right) with different illumination systems for characterizing solar modules, for studying elements of balance-of-system and for designing PV autonomous systems

These lab stations have many components of balance-of-system for designing and practicing with a small but real PV system. Balance-of-system refers to all the components needed for a working PV generation system, except for the solar panels themselves. The components include non-spillable sealed lead acid and rechargeable LiFePO₄ batteries, different power DC/AC inverters, different solar charge controllers, programmable battery power displays, and maximum power point tracking solar charge controllers.

2. Measuring parameter and characteristics

The created lab stations allow users to measure the main parameters of SCs: short circuit current, open circuit voltage, maximum power, fill factor, current-voltage (I-V) characteristics, output power on voltage, teaching skills that solar consumers will need. The lab stations allow users to extract the equivalent circuit parameters such as shunt and series resistance, the reverse saturation current, nonideality parameter of the current-voltage characteristic of solar cells from both light and dark I-V curves, and the dependence of the open circuit voltage on the short circuit current, teaching skills that solar researchers will need. Two variable resistors with different resistance ratings and proper power dissipating are used as variable loads (black boxes at Fig.1 and 2. For control temperature of SCs and modules the digital laser thermometers are used.

Lab stations help to teach the main principles of how to create solar PV systems as well as shading or nonuniform illumination effects. The lab stations allow students to study many components of PV systems: batteries, charge controllers, inverters, maximum power point tracker, programmable battery power display, and DC and AC LED loads (teaching electrical engineering

skills) as well as how to use and compare many different metering devices such as digital illuminance and power meters and multimeters. AC LED Flood Lights are used with inverters (AC LED can be connected directly with battery or SM) and results of different electric schemes can be analyzed from the point of efficiency of conversion at each step. The stations provide great flexibility to perform numerous sets of experiments on design and simulation of autonomous PV systems and investigation of system characteristics using different components of balance-of-system, teaching design and engineering skills. Acquiring practical skills of working with oscilloscopes analyzing quality of alternative output from different inverters and understanding fast Fourier transformation (FFT) is one more activity for students (Fig.3). Example of graph of generated electric power vs voltage from student report is shown at Fig. 4.

Studying temperature effects by cooling SCs with a 240 W thermoelectric cooler Peltier device (not shown in the figures) is especially helpful for students who are specializing in thermodynamics and need practice with thermoelectric effects using semiconductor materials. Most students are familiar with devices such as thermocouples but are less familiar with Peltier coolers, which are also discussed in [12].

Overall, the lab setups provide great flexibility and versatile functionality to perform numerous sets of experiments.

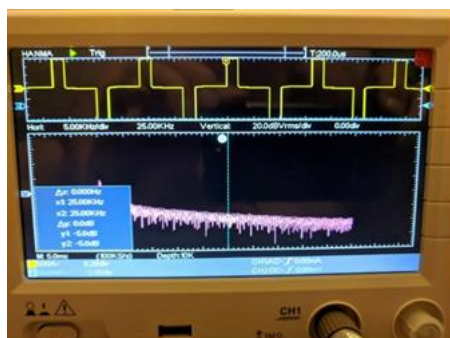


Fig. 3. Observing square wave inverter output on oscilloscope and result of FFT

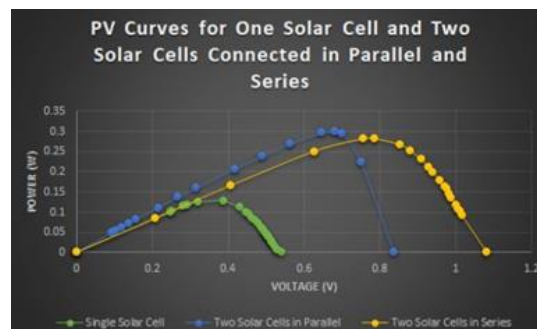


Fig. 4. Generated electric power of SCs vs voltage

Conclusion

Solar photovoltaic modules have suddenly emerged as one of the cheapest options for bulk electricity supply, according to Brian Green [17]. The PV industry is on a trajectory to reach at least three TW of cumulative PV installations by 2030 [18]. Implementation of this goal will require engineers who understand solar cells as main components of solar modules as well as how PV system design can be done.

These photovoltaic lab stations created have versatile contemporary tools for teaching and for research activity for a new generation of students to prepare them to participate in the energy transformation process from fossil to

renewable energy sources. The skills developed will help students to increase competitiveness in an emerging market. The modular principle used to develop the lab stations allows easy introduction of new SCs, SMs, and electronic components so they can be upgraded in the future to stay relevant to modern and advanced industry.

The first test classes at the end of last semester showed high student interest and a positive response to these labs. As an added benefit, more and more senior design projects are devoted to interdisciplinary areas connecting with solar energy; these are year-long design projects that all engineering students must complete to graduate. These labs will help them to prepare high quality projects.

Some challenges need to be mentioned - not all students of mechanical engineering are very familiar with semiconductor physics and optics, and so an introduction is needed. And a basic background in electrical circuits is also required.

As a next step, we plan to develop simulations of SCs, SMs and PV systems using Simulink/MATLAB. And based on previous experience by the lead author [19] automated monitoring of SCs and SMs to provided more field experiments with this equipment will be developed.

References

1. What is Energy Transition? <https://www.spglobal.com/en/research-insights/articles/what-is-energy-transition>.
2. Solar Industry Research Data. Solar Industry Growing at a Record Pace. <https://www.seia.org/solar-industry-research-data>. Cited April 7, 2021.
3. Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2018. IRENA. https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2018.pdf. Cited April 7, 2021.
4. Solar. IEA. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar>. Cited April 7, 2021.
5. Heradio R., de la Torre L., Galan D., Cabrerizo F. J., Herrara-Viedma E. and Dormido S., "Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis", Comput. Educ., vol. 98, pp. 14-38, Jul. 2016.
6. Kim Jong-Jin, Action-based solar education in architecture. Sustainable Cities and Society, Volume 60, September 2020, 102185.
7. Shcherbakov P. P., Shcherbakov S. P., Fedorovich S. D., / Automated remote laboratory complex "Molecular Physics and Thermodynamics" // Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference "Informatization of Engineering Education" - INFORINO-2014 (Moscow, April 15-16, 2014). - M.: Publishing house MEI, 2014, pp. 381-384 (in Russian).
8. Dursun Mahir, An Augmented Reality Based Modular Platform for Solar Energy Education, ACM International Conference Proceeding Series, April

14, 2020, Proceedings of the 2020 6th International Conference on Computer and Technology Applications, ICCTA 2020, pp.149-153.

9. Pramod Abichandani, William McIntyre, William Fligor, Deepan Lobo, Solar Energy Education through a Cloud-Based Desktop Virtual Reality System, IEEE Access, v 7, p 147081-147093, 2019; E-ISSN: 21693536; DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2945700; Article number: 8859177; Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

10. Steger Fabian, Nitsche Alexander, Arbesmeier Alexander, Brade Katja D, Schweiger, Hans-Georg, Belski Iouri, Teaching Battery Basics in Laboratories: Hands-On Versus Simulated Experiments, IEEE Transactions on Education, v 63, n 3, p 198-208, August 2020; ISSN: 00189359, E-ISSN: 15579638; DOI: 10.1109/TE.2020.2970554; Article number: 9027123; Publisher: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

11. Zeluff Joshua, Hands on Learning and Problem Based Learning are Critical Methods in Aiding Student Understanding of Alternative Energy Concepts, 2011, MS Thesis, Michigan State.

12. Thermodynamics: An Engineering Approach 9th Edition by Yunus Cengel and Michael Boles, 2019, (see Chapter 18, Renewable Energy (Web Chapter)).

13. Das Sandip, 2016, "Development of a Low-cost, Portable, and Programmable Solar Module to Facilitate Hands-on Experiments and Improve Student Learning", Proceedings of the 123rd ASEE Conference and Exposition, New Orleans.

<https://digitalcommons.kennesaw.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5170&context=facpubs>. Cited April 7, 2021.

14. Tyukhov Igor, Advanced Solar Energy and Educational Technology, Transaction in Solar Energy ISSN: 1985-9406 Online Publication, June 2010, Transaction in Solar Energy ISSN: 1985-9406 Online Publication, June 2010, <https://www.hilarispublisher.com/open-access/advanced-solar-energy-and-educational-technology-1985-9406-1-101.pdf>. Cited April 7, 2021.

15. Bouzidia K., Chegaara M., Aillerie M. Solar cells parameters evaluation from dark I-V characteristics, Energy Procedia 18, 2012, p. 1601-1610.

16. 80/20 Inc. The Industrial Erector Set. <https://8020.net/>. Cited April 7, 2021.

17. Green Martin, How Did Solar Cells Get So Cheap? Joule 3, March 20, 2019, 631–640.

18. Kurtz Sarah, et al. "Revisiting the Terawatt Challenge" MRS Bulletin, pp 159-164, March 2020.

19. Tyukhov Igor, Rezk Hegazy, Al-Dhaifallahad Mujahed, Tikhonov Anton, Performance of data acquisition system for monitoring PV system parameters // Measurement, vol. 104, July 2017, pp. 204-211.

Submitted by Department of Mechanical Engineering

УДК 662.997÷ 621.47

**СЕЗОННАЯ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ТЕПЛОВАЯ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ
ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ
ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ПЛАСТИКОВ
С ДОННЫМ ПОГЛОЩЕНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Р.Р. Авезов, Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов

Жаҳонда қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш, иссиқлик таъминоти тизимларида ресурс тежамкор ва иш унумдорлиги юқори бўлган қуёш иситиш қурилмаларини ишлаб чиқиш ва қўллаш етакчи ўринни эгалламоқда. Иссиқ сув таъминоти тизимларида қўлланилаётган ясси қуёш сув иситгич коллекторлари максимал қувватининг ўсиш суръати “2009 йилдан (170 ГВт) 2019 йилгача (480 ГВт) 10,94 % ни ташиқил қилиши ва шу даврда уларнинг ўрнатилган умумий юзаси 242,86 млн. м² дан 685,71 млн. м² гача ошганлигини” ҳисобга олсак, самарадорлиги юқори ва ресурс тежамкор қуёш қурилмаларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан ҳисобланади. Жаҳонда ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг нур ютувчи иссиқлик алмаштиргич панеллари конструкцияларини такомиллаштириш ҳамда уларнинг иссиқлик унумдорлиги ва коррозияга чидамлилигини оширишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда ясси қуёш сув иситгич коллекторларининг иш унуми юқори, содда конструкцияга ва кам металл сизимига эга бўлган янги авлодларини яратиш ҳамда иссиқлик-техникавий параметрларини асослаш бўйича мақсадли илмий изланишларни олиб бориш долзарб ҳисобланади.

Использование возобновляемых источников энергии, разработка и применение ресурсосберегающих и высокоэффективных солнечных нагревательных устройств в системах теплоснабжения широко распространяется в мире. В настоящее время, в развивающихся странах темпы роста пиковой мощности плоских солнечных водонагревательных коллекторов, используемых в системах горячего водоснабжения, “постоянно увеличиваются с 2009 г. (170 ГВт) по 2019 г. (480 ГВт), составив 10,94% в год. Их общая установленная площадь за этот период выросла с 242,86 млн. м² до 685,71 млн. м², при этом особое внимание уделяется вопросам “повышения тепловой эффективности данных установок и улучшения их выходных показателей”. В мире ведутся исследования по совершенствованию конструкций лучепоглощающих теплообменных панелей, являющихся основными элементами плоских солнечных водо-

нагревательных коллекторов, повышению их теплопроизводительности, а также коррозионной стойкости. В связи с этим важно создать плоские солнечные водонагреватели нового поколения с высокой производительностью, простой конструкции и с малой металлоемкостью, а также провести целевые исследования для обоснования их теплотехнических параметров.

The use of renewable energy sources, the development and application of resource-saving and highly efficient solar heating devices in heat supply systems are world leaders. Currently, in developing countries, despite the fact that the growth rate of the peak capacity of flat-panel solar water-heating collectors used in hot water systems "is constantly growing from 2009 (170 GW) to 2019 (480 GW), amounting to 10 , 94% per year, and their total installed area during this period grew from 242.86 million m² to 685.71 million m² "with particular attention to the issues of" increasing the thermal efficiency of these installations and improving their output indicators. In the world, research is underway to improve the design of radiation-absorbing heat exchange panels, which are the main elements of flat solar water-heating collectors, to increase their heat output, as well as corrosion resistance. In this regard, it is important to create flat solar water heaters of a new generation with high performance, simple design and low metal consumption, as well as to conduct targeted research to substantiate the thermal parameters.

Введение

В плоских солнечных водонагревательных коллекторах (ПСВК) с емкостными поглотителями солнечного излучения (ПСИ), в отличие от таковых с проточными ПСИ, функция ПСИ и бака-аккумулятора горячей воды совмещены, и они могут быть изготовлены из теплостойких неметаллических материалов, например, из теплостойких пластиков. В связи с тем, что в ПСВК рассматриваемого типа функции ПСИ и бака-аккумулятора горячей воды совмещены, их часто называют аккумуляционными [1].

На основе комплекса выполненных научных исследований по тепловому расчету плоских солнечных водонагревательных коллекторов с емкостными поглотителями солнечного излучения и с донным поглощением солнечного излучения (СИ), и теплоизолированными плоскими основаниями, нами разработаны и сравнительно испытаны в натурных условиях опытные образцы солнечных коллекторов рассматриваемого типа. В статье приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований в натурных условиях температурного режима и тепловой эффективности вышеуказанных солнечных коллекторов, расположенных горизонтально в меридианальном направлении по сторонам света, т.е.

длинная ось плоского основания коллекторов направлена с востока на запад.

Основная часть

Эксперименты проводились в условиях городов Ташкента (гелиополигоне ФТИ НПО «Физика-Солнце» АН РУз) и Гулистана (на гелиоплощадке Гулистанского государственного университета) в течение летних периодов 2008-2017 годов.

Задачами натурных экспериментов являются:

- проверка адекватности результатов расчетных и экспериментальных исследований;
- определение количества испаренной влаги из ПСВК с емкостным ПСИ с открытой поверхностью;
- установление степени зависимости температуры горячей воды от толщины слоя воды в емкостном ПСИ;
- установление теплопроизводительности и тепловой эффективности коллекторов рассматриваемого типа и рациональных сроков их эксплуатации в сезонных системах горячего водоснабжения.

Опытно-производственный образец ПСВК с емкостным ПСИ состоит (рис.1) из корпуса 1, выполненного из бетона в виде короба, на днище которого расположена емкость 4, выполненная из полимерного материала со светопрозрачной верхней частью 7, с входным 5 и выходным 6 патрубками; внутри боковых стенок и днища корпуса размещен слой теплоизоляционного материала 3, при этом корпус коллектора снабжен фронтальным светопрозрачным покрытием 2, а боковые и нижняя части емкости выполнены черными 8,9 [11 - 15, 19 - 21].

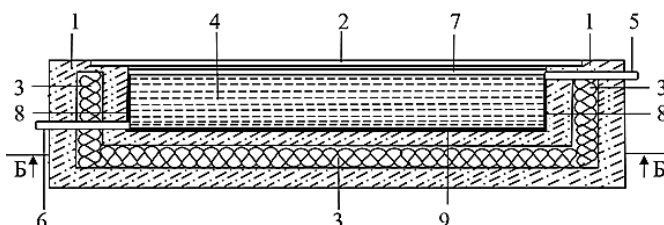


Рис. 1. Схематичный вертикальный разрез предлагаемого ПСВК с емкостным ПСИ

Уменьшение тепловых потерь корпуса ПСВК достигается, во-первых, тем, что внутри боковых стенок и днища корпуса размещен слой теплоизоляционного материала. Внутренний теплоизоляционный слой уменьшает значение обобщенного коэффициента теплопроводности трехслойной стенки в сравнении с коэффициентом теплопроводности исходного материала. Чем меньше теплопроводность теплоизоляционного материала, тем меньше эффективная теплопроводность и, соответственно, меньше теплотерь с поверхности стенки. Например, теплопровод-

ность нормального бетона составляет 1,5-2,1 Вт/(м²К), теплопроводность камышитовых плит 0,06-0,09 Вт/(м²К) в зависимости от степени уплотнения. Усредненная разница в значениях теплопроводности ~ 20. Во-вторых, тем, что корпус коллектора снабжен фронтальным светопрозрачным покрытием и боковой теплоизоляцией, которые дополнительно уменьшают тепловые потери корпуса [22, 23, 24].

Таблица 1

Дневная сумма падающего на поверхность коллектора солнечного излучения и количество полезно полученной энергии, при $\delta_g = 0,05$ м и

$\delta_g = 0,07$ м, соответственно, за сезон

Даты проведения экспериментов	Количество дней	$Q_{пад_{9-15}}^{\Sigma}$, МДж	$Q_{пол_{9-15}}$, МДж		$\bar{\eta}_{9-15}$	
			0,05 м	0,07 м	0,05 м	0,07 м
05.2017	5	91,31	14,69	19,88	0,16	0,22
06.2017	5	101,51	17,19	23,39	0,17	0,23
07.2017	5	105,56	18,97	24,47	0,18	0,24
08.2017	5	84,53	16,75	26,27	0,20	0,31
09.2017	4	62,87	9,39	12,80	0,15	0,20
сезон	24	445,78	76,99	94,81	0,17	0,21

Таблица 2

Количество полезно полученной за сезон горячей воды при $\delta_g = 0,05$ м и

$\delta_g = 0,07$ м, соответственно, за сезон

Месяцы	Число дней работы коллектора	Объем воды в коллекторе, (V) л	$t_{г}, ^\circ C$	$Q_{пол_{9-15}}, \text{МДж/мес}$
	$\delta_g = 0,05 \text{ м}$			
Май	18	4500	42÷ 43	312,13
Июнь	19	4750	50÷ 53	565,34
Июль	27	6750	53÷55	759,90
Август	29	7250	53÷55	1065,75
Сентябрь	24	6000	47÷48	334,55
Сезон	117	29250		3119,31
Месяцы	$\delta_g = 0,07 \text{ м}$			
май	18	6300	40 ÷ 42	327,95
июнь	19	6650	47 ÷ 49	664,08
Июль	27	9450	49 ÷ 50	949,57
Август	29	10150	46 ÷ 47	1248,50
Сентябрь	24	8400	41 ÷ 43	370,51
За сезон	117	40950		3650,23

Для повышения эффективности нагрева воды в ПСВК боковые и нижняя части его емкого ПСИ выполнены из полимерного материала черного цвета. В этом случае лучистый поток СИ, проходящий через верхнюю светопрозрачную стенку емкости и слой воды, полностью по-

глотится черными боковыми и нижней частями емкости. Основная часть поглощенной энергии СИ затратится, в первую очередь, на нагрев воды в емкости. И лишь малая ее доля передастся теплопроводностью корпусу. Эффект преимущественного прогрева воды, а не корпуса, усиливается за счет естественной термогравитационной конвекции, в результате которой боковые и нижняя части емкости непрерывно омываются нисходящими потоками холодной воды.

Экспериментальные исследования опытно-производственного образца ПСВК проводились в течение теплого периода 2017-2019 гг. на гелиоплощадке Гулистанского госуниверситета.

Результаты

Результаты обобщения экспериментальных данных по определению температуры воды, суммы дневной теплопроизводительности и средне-дневной тепловой эффективности ПСВК с емкостными ПСИ, в течение ясных и полужасных дней представлены в табл. 1,2; количество падающей солнечной энергии, количество получаемой за сезон горячей воды, количество полезной энергии для $\delta_g = 0,05$ м и $\delta_g = 0,07$ м., за сезон, соответственно.

Число дней работы, при которых температура получаемой теплой или горячей воды выше, чем $40 \div 42^\circ\text{C}$, составляют: 18 – в мае месяце, 19 – в июне, 27 – в июле, 29 – в августе и 24 – в сентябре месяцах. Общий объем теплой или горячей воды, полученной из коллектора за сезон (V-IX месяцы года), составлял 29,250 л. при $\delta_g = 0,05$ м, и при температурах воды в момент забора ($14 \div 50_{\text{мин}} \div 15 \div 10_{\text{мин}}$) в мае месяце - $47 \div 48^\circ\text{C}$, в июне - $45 \div 53^\circ\text{C}$, в июле и августе - $53 \div 55^\circ\text{C}$, в сентябре - $40 \div 42^\circ\text{C}$. При $\delta_g = 0,07$ м общий объем горячей воды, полученной из коллектора за этот период, оставлял 40,950 л. с температурой на $3 \div 4^\circ\text{C}$ ниже, чем при $\delta_g = 0,05$ м. Количество сэкономленного условного топлива от использования коллектора рассматриваемого типа, определенное из:

$$G_{y.m.}^{уд} = \frac{Q_{пол}^{сезон}}{\eta_{тр} \cdot q_{y.m.}},$$

при эффективности использования маломощных традиционных теплоисточников ($\eta_{тр}$) 0,5, теплотворной способности условного топлива ($q_{y.m.}$) $29,3076 \text{ ГДж/т.у.т.}$ при $\delta_g = 0,05$ м составляет $42,57 \text{ кг у.т./м}^2 \cdot \text{сезон}$ и при $\delta_g = 0,07$ м составляет $49,82 \text{ кг у.т./м}^2 \cdot \text{сезон}$.

Средняя цена традиционных солнечных коллекторов, производимых на сегодня, составляет 300-400\$ долларов, в то время как средняя цена плоских солнечных водонагревателей с прозрачным пластиковым покрытием, с донным поглощением солнечного излучения в 10 раз дешевле

традиционных коллекторов; это обстоятельство также необходимо учитывать при использовании описанных плоских солнечных панелей.

Литература

1. Фрид С.Е., Лисицкая Н.В. Современные солнечные коллекторы: типичные параметры и тенденции их изменения // Гелиотехника. 2018. №2. -С.27-37.
2. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. -М.: Высшая школа. 1971. -460 с.
3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. -М.: Энергоатомиздат. 1983. -416 с.
4. Лыков А.В., Ауэрман Л.Я. Теория сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов пищевой промышленности. -М.: Пищепромиздат. 1946. -288 с.
5. Нестеренко А.В. Экспериментальное исследование тепло- и массообмена при испарении жидкости со свободной поверхности. // ЖТФ. 1954. Т. 24. №4. -С. 729-741.
6. Авезов Р.Р., Ким К.М., Умаров Г.Я., Джамалов А. Эффективность солнечной энергии в топливно-энергетическом балансе // Гелиотехника. 1970. №6. -С. 60-64.
7. Гребер Г., Эрг С., Григулл У. Основы учения о теплообмене. -М.: ИИЛ. 1958. -560 с.
8. Avezova N.R., Avezov R.R. Dependence of the coefficient of environmental thermal losses of radiation-absorbing thermal exchange panels of flat solar collectors for heating heat-transfer fluid from their average operating and ambient temperatures // Applied Solar Energy. – USA. 2015. – Vol.51, №1. – pp.10-14.
9. Константиновский Ю.А., Заваров А.И., Рабинович М.Д. Ферт А.Р. Исследование солнечной энергии для теплоснабжения зданий. -Киев: Будівельник. 1985. – 104 с.
10. Мак Адамс В.Х. Теплопередача. -М.: Металлургиздат. 1961. - 696 с.
11. Тарнижевский Б.В. Оценка эффективности применения солнечного отопления в России// Возобновляемая энергетика. Ежеквартальный информационный бюллетень. Интерсоларцентр. 1997. №1. -С. 48-51.
12. Авезов Р.Р., Касимов Ф.Ш., Ниязов Ш.К. Патент на полезную модель «Емкостной солнечный водонагревательный коллектор» № FAP 01185, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Республики Узбекистан в г. Ташкенте 22.02.2017 г.
13. Исманжанов А.И., Расаходжаев Б.С. Исследование температурного поля грунта в грунтовом солнечном водонагревательном коллекторе // Гелиотехника. 2011. №2. - С. 56-58.
14. Avezova N.R., Avezov R.R., Ruziev O.S., Suleimanov Sh.I., Vakhi-dov A. Longevity Characteristics of Flat Solar Water-Heating Collectors in

Hot-Water-Supply Systems. Part 1. Procedure for Calculating Collector Heating Efficiency // Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, №1, pp. 7-15.

15. Avezova N.R., Avezov R.R., Suleimanov Sh.I., Vakhidov A.U. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water-supply systems: Part 3. Source data for calculations that depend on the weight, size, and heat engineering characteristics of the collector and the optic properties of the translucent collector coating. // Applied Solar Energy. – USA. 2013. – Vol. 49, №3. – pp. 128-136.

16. Avezova N.R., Avezov R.R., Rustamov N.T., Suleimanov Sh.I., Vakhidov A.U. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water supply systems: 4. Specific collector thermal yield and efficiency. // Applied Solar Energy. – USA. 2013. – Vol. 49, №4. – pp. 202–210.

17. Богатырева В. В. Альтернативные топливно-энергетические ресурсы: экономико-управленческие аспекты использования в условиях инновационного развития общества. –Новополоцк: ПГУ, 2017. – 323 с.

18. Клычев Ш.И., Исманжанов А.И., Бахрамов С.А., Захидов Р.А., Самиев М. Динамика суточных температур в солнечных «горячих ящиках» // Гелиотехника. 2007. – №1. – С. 29-31.

19. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Самиев К.А. Коэффициент пропускания светопрозрачной изоляции плоских гелиоустановок диффузной солнечной радиации. // Гелиотехника, –Ташкент., 2007. – №1. – С. 62-65.

20. Стребков Д. С., Сагинов Л. Д. Возобновляемые источники энергии в ВИЭСХ - история и перспективы: К 85-летию института. // Вестн. ВИЭСХ. 2015, – №1, – С. 6-11.

21. Klein S.A. Calculation of flat-plate collector loss coefficients. Journal of Solar Energy. 1975. V. 17. № 1. – pp. 79-80.

22. 10. Luo B., Hu Zh., Hong X., He W. Experimental study of the water heating performance of a novel tile shaped dual-function solar collector // Energy Procedia. 2015. V. 70. – pp. 87 – 94.

23. Wang N., Zeng Sh., Zhou M., et al. Numerical study of flat plate solar collector with novel heat collecting components // International Communications in Heat and Mass Transfer. 2015. V. 69. pp. 18–22.

24. Zambolin E., Del Col D. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions // Solar Energy. 2010. V. 84. pp. 1382–1396.

25. Суслов К. В., Уколова Ев. В., Уколова Ек. В. Экономика и возобновляемые источники энергии. /Проблемы освоения минеральной базы Восточной Сибири: Сборник научных трудов. Вып.15.Иркутск. 2015. – С. 94-98.

*Представлено Физика-техническим
институтом АН РУз*

УДК 621.036

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА НА ПОВЕРХНОСТЯХ
ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБКИ И РАЗРАБОТКА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА**

Л.М. Эшкуватов, Н.Т. Ташбаев, Р.П. Бабаходжаев

Мазкур мақолада вертикал қувурнинг сиртида сув бугининг конденсацияланиш жараёнида иссиқлик алмашинув жараёнини жадаллаштиришга бағишланган илмий адабиётлар таҳлили ва тадқиқотнинг асосий натижалари келтирилган. Кўтарилаётган буг оқимида жойлашган вертикал қувурнинг ички ва ташқи сиртларида юпқа плёнка шаклида ламинар оқувчи суюқлик куринишида сув бугининг ламинар конденсацияси жараёнида иссиқлик алмашинуви ўрганишга қаратилган ишлар таҳлили ва ўрганилаётган ҳол учун олдиндан маълум Нуссельт ва Рейнолдс сонларининг қийматлари ўрганиб чиқилди. Суюқликнинг молекуляр деворолди қатламларининг термик қаришлигини пасайтиришдан иборат бўлган қиздирувчи буг томонидан бугнинг конденсацияланиши содир бўладиган иссиқлик алмашинув сиртларини геометрик шаклини такомиллаштириш орқали иссиқлик алмашинув жараёнини жадаллаштириш усуллари келтирилган. Бу усул иссиқлик алмашинув юзасини ошириш ҳисобига бугдан девор сиртига иссиқлик узатиш коэффициентининг оширилишига имкон беради.

Эълон қилинган ишларнинг натижаларини ўрганиш асосида мазкур иш муаллифлари вертикал қувурнинг ташқи сиртида сув бугларининг конденсацияланиш жараёни самарадорлигини оширишни тадқиқ қилиш учун экспериментал лаборатория қурилмасини ишлаб чиқишган. Иссиқлик алмашинув сиртидан ламинар оқаётган суюқликнинг узилиши ечилаётган муҳим илмий муаммодир, чунки бунинг натижасида бугнинг бевосита қувурнинг совук сиртига берилиши ва у билан таъсирланишига олиб келади.

Выполнен обзор научной литературы по интенсификации процесса теплообмена при конденсации водяного пара на поверхности вертикальной трубки и представлены основные результаты исследования. Проанализированы работы по изучению теплообмена при ламинарной конденсации водяного пара в виде ламинарно - текучей жидкости в виде пленки как внутри, так и на наружной поверхностях вертикальных трубок с восходящим потоком пара. Изучены, в том числе и известные, предлага-

емые для рассматриваемого случая, числовые значения Нуссельта и Рейнольдса. Представлены методы интенсификации процесса теплообмена путем совершенствования геометрической конфигурации теплообменной поверхности со стороны греющего пара, на которой происходит его конденсация в процессе теплоотдачи, заключающаяся в снижении термического сопротивления пристеночных молекулярных слоев жидкости. Такой метод способствует повышению коэффициента теплоотдачи от пара к поверхности стенки за счет увеличения площади поверхности теплообмена.

На основе изучения результатов известных работ, авторами разработана экспериментальная лабораторная установка для исследования эффективности процессов конденсации водяного пара на наружной поверхности вертикальной трубки. Важной решаемой научной проблемой является срыв ламинарно - текучей жидкости конденсируемого пара с теплообменной поверхности, что приводит к допуску и контакту пара непосредственно с холодной поверхностью трубки.

A review of the scientific literature on the intensification of the heat transfer process during condensation of water vapor on the surface of a vertical tube is carried out and the main results of the study are presented. The work on the study of heat transfer during laminar condensation of water vapor in the form of a laminar-flowing liquid in the form of a film and inside and on the outer surfaces of vertical tubes with an ascending vapor flow is analyzed, including the known numerical values of Nusselt and Reynolds proposed for the case under consideration. Methods for intensifying the heat transfer process by improving the geometric configuration of the heat exchange surface from the side of the heating steam, on which it condenses in the course of heat transfer, which consists in reducing the thermal resistance of the near-wall molecular layers of the liquid, are presented. This method helps to increase the heat transfer coefficient from steam to the wall surface by increasing the heat transfer surface area.

Based on the study of the results of well-known works, the authors of the work under consideration have developed an experimental laboratory setup to study the increase in the efficiency of the processes of condensation of water vapor on the outer surface of a vertical tube. An important scientific problem to be solved is the stripping of the laminar-flowing liquid of the condensed vapor from the heat exchange surface, which leads to the admission and contact of the vapor directly from the cold surface of the tube.

Введение. Интенсификация процессов теплообмена приводит к уменьшению размеров и массы теплообменных аппаратов при увеличении их тепловой мощности, что является весьма актуальным вопросом.

Работа посвящена разработке лабораторного стенда для исследования процесса конденсации водяного пара в кожухотрубчатом теплообменнике. Данный вопрос рассматривается во множестве опубликованных работ, где предлагаются различные методы и способы, приводящие к улучшению теплоотдачи при конденсации греющего пара в трубчатых аппаратах [1 - 7].

Основная часть. Известно, что при обильной конденсации греющего пара, конденсат образует пленку жидкости на поверхности вертикально расположенной трубки и, по мере течения вниз, толщина слоя конденсата увеличивается, что повышает термическое сопротивление, влияющее на процесс теплоотдачи [8 - 17].

Теплообмен при ламинарном течении пленки конденсата внутри вертикальных трубок с восходящим потоком пара теоретически исследован в работах [9 - 13]. Конденсация обратного потока внутри замкнутого термосифона аналитически рассмотрена в работе [9]. В указанных работах полученные результаты сравнивались с классической теорией Нуссельта для случая покоящегося пара.

Ряд работ посвящен конденсации пара в виде ламинарной пленки внутри трубы для случаев восходящего и нисходящего турбулентного потока пара [9], теоретическому исследованию конденсации восходящего потока пара в виде ламинарно-текучей жидкости в вертикальной трубке [14], аналитическому исследованию конденсации обратного потока пара в двухфазном замкнутом термосифоне с учетом влияния межфазного сдвигового напряжения [15], математической модели теплопередачи при конденсации пара с учетом массопереноса, скорости пара и межфазного сдвига [16], математической модели для конденсации обратного потока текущих паров с учетом неконденсируемых газов, которые присутствуют в реальных условиях эксплуатации теплообменников и с этим результаты работы представляют интерес для специалистов [17]. Следует отметить, что исследования, описанные в вышеуказанных работах, проводились с трубками относительно малого диаметра. Некоторые результаты представлены в табл. 1.

Al-Shammari и др. представили распределение температуры, коэффициента теплопередачи и тепловой нагрузки вдоль вертикальной трубы с противотоком охлаждаемой жидкости к движению потока пара. Были получены соответствующие результаты, которые показывают эффективность в определенных граничных условиях теплообмена [18].

К.-W. Lee и др. выполнили эксперименты по конденсации обратного потока в U-образной трубе и получили результаты, которые в целом согласуются с предсказанием Нуссельта [22].

Таблица 1
Основные экспериментальные данные известных работ

№ п/п	Источники	Тепло-носитель	Размеры трубки, м	Критерии подобия
1	S.L. Chen и др. [9]	Вода	$D = 14,2 \text{ мм},$ $L = 0,9398 \text{ м}$	$Re_f = 2 - 24$
2	Кутателадзе С.С. [10]	Вода	$D = 19 \text{ мм}, L = 1 \text{ м},$ $L = 4 \text{ м}$	$Re = 25 - 2340,$ $Pr = 1,1 - 1,75$
3	Гудымчук В.А. [11]	Вода	$D = 35 \text{ мм}, L =$ $0,95 \text{ м}$	$Re = 300 - 2500,$ $Pr = 1,75$
4	Бутузов А.Н. [12]	Вода	$D = 18 \text{ мм},$ $L = 1,27 \text{ м}$	$Re = 110 - 440,$ $Pr = 1,75$
5	Milan Kubin [19]	Вода	$D = 2 \text{ мм},$ $L = 1,285 \text{ м}$	$Pr = 1,08 - 1,11$
6	Yeong-Jun Jang [20]	Вода	$D = 40 \text{ мм},$ $L = 1 \text{ м}$	$Re = 100 - 1500$
7	Thumm и др., Gross и др. [21]	Вода	$D = 28,2 \text{ мм},$ $L = 0,29 - 1,7 \text{ м}$	$Re_f = 1,3 - 2100$ $Re_v = 0 - 15000$

Методы. Целью настоящей работы является разработка усовершенствованной лабораторной установки для повышения эффективности процессов теплообмена при конденсации водяного пара на вертикальной теплообменной трубке с различными геометрическими интенсифицирующими формами поверхности. Интенсификация, по существу, заключается в снижении термического сопротивления пристенных слоев, что способствует повышению коэффициента теплоотдачи за счет увеличения площади поверхности теплообмена. Ребристые поверхности, которые используются в большинстве теплообменников, обеспечивают эффективное увеличение площади поверхности теплоотдачи. Применение своеобразной конструкции ребристых поверхностей также позволяет воздействовать на поток теплоносителя, возмущая его.

На рис. 1 представлена разработанная схема экспериментального лабораторного стенда для исследования процессов теплообмена при конденсации греющего пара на поверхности вертикально расположенных трубок.

Стенд состоит из термостойкой стеклянной трубки 1, в середине которой установлена в вертикальном положении медная трубка 2 с пластинчатыми ребрами 3. Через трубку 2 пропускается холодная вода 6, служащая в качестве теплоприемника. В стеклянную трубку 1 через трубку 4 поступает греющий водяной пар 5, полученный в парообразователе 7. Образующийся на поверхности холодной медной трубки конденсат 8 стекает вниз и отводится через патрубок 9 в мерник конденсата 10. Изме-

Таблица 2

Некоторые экспериментальные показатели параметров процесса конденсации водяного пара, полученные в созданной лабораторной установке

Температура насыщения, t_s , °C	Давление насыщенного пара, кгс/см ²	Наружный диаметр трубки, d_n , мм	Длина трубки, L , мм	Изменение температурного напора, Δt , °C	Число Рейнольдса, Re	Число Прандтля, Pr
90 - 125	0,8 - 1	12	35	4 - 14	160 - 500	0,99 - 1,11

Давление водяного пара на входе в стеклянную трубку 1 и по её высоте контролируется с помощью образцовых манометров. Параметры насыщенного пара регулируются с помощью лабораторного трансформатора, подключенного в парообразователь 7.

Выводы. Разработанный стенд позволяет определять локальные значения коэффициентов теплоотдачи при конденсации пара по результатам замеров температуры стенки трубы с помощью хромель-копелевых термопар толщиной 0,2 мм. Основным элементом стенда является вертикальная охлаждаемая трубка, куда насаживаются экспериментальные образцы с различными геометрическими формами.

Литература

1. Ефимов А.Л., Маскинская А.Ю. Расчет промышленных теплообменников с интенсифицированными поверхностями. – М.: Издательство МЭИ., 2016. - С. 13-18.
2. Ефимов А.Л., Глазов В.С., Юркина М.Ю. Интенсификация теплообмена. – Москва: Издательство МЭИ., 2016 - С. 33-38.
3. Кузьма-Кичта Ю.А. Методы интенсификации теплообмена. - М.: МЭИ, 2001. - 112 с.
4. Власенко А.С. Увеличение эффективности теплообменников посредством интенсификации теплообмена на поверхностях со сферическими углублениями // Автореферат дисс.доктора технических наук. - М.: МЭИ, 2011. – 36 с.
5. Эшкуватов Л.М., Бабаходжаев Р.П. Экспериментальная установка для исследования процесса конденсации пара в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах / Сборник статей. V Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». Кузбасс ГТУ. 2020. - С. 150-154.
6. Эшкуватов Л.М. Повышение эффективности теплообмена в выпарных аппаратах консервной промышленности / Проблемы и перспекти-

вы инновационной Техники и технологий в аграрном-пищевом Секторе, Международный научно и научно-технической конференции, ТашГТУ, - Ташкент, 2020. - С. 711-713.

7. Эшкуватов Л.М. Влияние оребрения на повышение эффективности теплообмена в выпарных аппаратах / Материалы Международной научно-практической интернет-конференции «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации»: Сб. науч. трудов. Переяслав, 2020. - С. 522-524.

8. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Интенсификация теплообмена: монография / Попов И.А., Махьянов Х.М., Гуреев В.М.; под общ. ред. Гортышова Ю.Ф. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009.

9. S.L. Chen, F.M. Gerner, C.L. Tien, General film condensation correlations, Exp. Heat Transfer 1 (1987) 93–107, <http://dx.doi.org/10.1080/08916158708946334>.

10. Кутателадзе С.С., Шренцель А.Н. Формулы и графики для расчетов общего коэффициента теплоотдачи в вертикальных подогревателях при пленочной конденсации медленно движущегося насыщенного пара // Советское котлотурбостроение. 1938. № 4. - С. 149-452.

11. Гудымчук В.А. Теплообмен при конденсации пара на вертикальной трубке // Известия ВТИ. 1946. № 6. - С. 29-32.

12. Бутузов А.Н., Риферт В.Г., Леонтьев Г.Г. Экспериментальное исследование теплообмена при конденсации пара на вертикальных трубах с проволочным оребрением // Теплофизика и теплотехника. - Киев, 1983. № 24. - С. 94-96.

13. W. Roetzel, Laminar film condensation in tubes; calculation of local film resistance and local adiabatic mixing temperature, Int. J. Heat Mass Transfer 16 (1973) 2297–2304, [http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310\(73\)90015-X](http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310(73)90015-X).

14. R.A. Seban, J.A. Hodgson, Laminar film condensation in a tube with upward vapor flow, Int. J. Heat Mass Transfer 25 (1982) 1291–1300, [http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310\(82\)90123-5](http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310(82)90123-5).

15. S.L. Chen, F.M. Gerner, C.L. Tien, General film condensation correlations, Exp. Heat Transfer 1 (1987) 93–107, <http://dx.doi.org/10.1080/08916158708946334>.

16. Y. Pan, Condensation characteristics inside a vertical tube considering the presence of mass transfer, vapor velocity and interfacial shear, Int. J. Heat Mass Transfer 44 (2001) 4475–4482, [http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310\(01\)00087-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00087-4).

17. Y. Liao, S. Guentay, D. Suckow, A. Dehbi, Reflux condensation of flowing vapor and non-condensable gases counter-current to laminar liquid film in a vertical tube, Nuclear Eng. Des. 239 (2009) 2409–2416.

18. S.B. Al-Shammari, D.R. Webb, P. Heggs, Condensation of steam with and without the presence of non-condensable gases in a vertical tube, *Desalination* 169 (2004) pp. 151–160.

19. Milan Kubín, Jiří Hirš, Josef Plášek Experimental analysis of steam condensation in vertical tube with small diameter, *Int. J. Heat Mass Transfer* 94 (2016) 403-410.

20. Yeong-Jun Jang, Dong-Jae Choi, Sin Kim, Myung-Taek Hyun and Yeon-Gun Lee Enhancement of Condensation Heat Transfer Rate of the Air-Steam Mixture on a Passive Condenser System Using Annular Fins, *Energies* 2017, 10(11), 1777; <https://doi.org/10.3390/en10111777>.

21. S. Thumm, Ch. Philipp, U. Gross, Film condensation of water in a vertical tube with countercurrent vapour flow, *Int. J. Heat Mass Transfer* 44 (2001) 4245 - 4256, [http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310\(01\)00067-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00067-9).

22. K.-W. Lee, H.C. No, I.-C. Chu, Y.M. Moon, M.-H. Chun, Local heat transfer during reflux condensation mode in a U-tube with and without noncondensable gases, *Int. J. Heat Mass Transfer* 49 (2006) pp. 1813-1819.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 620.97

**ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В
СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Ю.В. Даус, Д.А. Десятниченко, И.В. Юдаев

Агросаноат мажмуасининг электр таъминоти тизимларида тақсимланган авлод манбаларининг бир қисми сифатида қўйиш энергиясини фотоэлектрик конвертатсия қилиш технологиясидан фойдаланиш қишлоқ жойларида антропоген юкни камайтириш, камайтириш нуқтаи назаридан энг истиқболли йўналишлардан бири ҳисобланади. қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини ишлаб чиқариш, сақлаш ва қайта ишлашнинг замонавий воситаларини жорий этиш учун қувват захираларини аниқлаб, мавжуд электр тармоқларига юк. Тадқиқотнинг мақсади қишлоқ хўжалиги корхоналарининг электр таъминоти тизими томонидан тармоқдан электр энергияси истеъмолини корхонанинг саноат бинолари томларида фотоэлектрик қурилмалар томонидан амалга оширилган тақсимланган ишлаб чиқариш орқали камайтиришидир. Тадқиқот объекти - Россия Федерацияси, Ростов вилояти агросаноат мажмуаси қайта ишлаш саноати корхонасининг электр таъминоти тизими. Ҳар бир тақсимланган ишлаб чиқариш манбаидаги модуллар сони ҳар соатда электр энергиясини ишлаб чиқариш унинг сарфланишидан кам ёки унга тенг бўлиши ва манба ўзи ишлаб чиқарадиган бино томида истеъмолчи учун ишлаши асосида танланган. ўрнатилган. Тарқатилган авлод манбалари истеъмолчиларнинг умумий қуввати 17,9 кВт бўлган тўртта саноат биноларининг томларида жойлашган бўлиб, уларнинг қуввати 365 Вт бўлган 49 модул орқали амалга оширилади, шулардан 37 таси шарққа уфққа 15° бурчак остида йўналтирилган, қолган қисми жанубга 15° бурчак остида (5 дона) ва кўриб чиқиладиган минтақа учун уфққа нисбатан оптимал мойиллик бурчаги 39 (7 дона) га тенг. Тармоқдан истеъмолнинг умумий пасайиши ҳар бир истеъмолчи учун 24,1% дан 61,1% гача; таъминот трансформатор подстанциясининг автобусларида тармоқдан истеъмолнинг ўзгариши йил давомида 36,8% дан 45,7% гача ўзгариб туради.

Применение технологии фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в составе источников распределенной генерации в системах электроснабжения агропромышленного комплекса является одним из наиболее перспективных направлений с точки зрения снижения антропогенной нагрузки на сельских территориях, уменьшения нагрузки на действующие электрические сети, выявления резервов мощностей для

внедрения современных средств производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Цель исследования – снизить потребление электрической энергии из сети системой электроснабжения сельскохозяйственного предприятия средствами распределенной генерации, реализованной фотоэлектрическими установками на крышах производственных зданий предприятия. Объект исследования – система электроснабжения предприятия перерабатывающей отрасли агропромышленного комплекса Ростовской области, Российской Федерации. Количество модулей в составе каждого источника распределённой генерации было выбрано из условия, что генерация электрической энергии каждый час меньше или равна её потреблению, и источник работает на потребителя, на крыше производственного здания которого он установлен. Источники распределенной генерации размещены на крышах четырёх производственных зданий потребителей суммарной мощностью 17,9 кВт, реализованы посредством 49 модулей мощностью 365 Вт, из которых 37 ориентированы на восток под углом 15° к горизонту, остальные на юг под углом 15° (5 шт.) и под оптимальным углом наклона относительно горизонта для рассматриваемого региона – 39° (7 шт.). Суммарное снижение потребления из сети варьируется для каждого потребителя от 24,1% до 61,1%; изменение потребления из сети на шинах питающей трансформаторной подстанции составляет от 36,8 % до 45,7 % в течение года.

The application of the technology of photovoltaic conversion of solar energy as part of distributed generation systems in the power supply system of the national agro-industrial complex is one of the most promising way from the point of view of reducing anthropogenic load on the rural territory, reducing the load on existing electrical networks, capacity reserves for the application of modern means of production, storage and processing of agricultural products. The purpose of the study is to reduce the consumption of electrical energy from the power supply network of agricultural enterprise by means of distributed generation, implemented by photovoltaic installations on the roofs of industrial buildings of the enterprise. The object of the research is the power supply system of the enterprise of the processing industry of the agro-industrial complex of the Rostov region of the Russian Federation. The number of modules in each source of distributed generation was selected from the conditions that the generation of electrical energy for every hour is less than or equal to the consumer load, on the roof of the production building on which it is installed. Sources of distributed generation are located on the roofs of four industrial buildings with power consumption of 17.9 kW by means of 49 modules with capacity of 365 W, out of which 37 modules are oriented to the east at tilt angle of 15° to the horizon, the rest are orientaed to the south at tilt angle of 15° (5 pcs.) and at optimal tilt angle relative to horizon for the considered

region - 39° (7 pcs). The total decrease in consumption from the network varies for the consumers from 24.1% to 61.1%; the change in consumption from the network on the buses of the supply transformer substation is from 36.8% to 45.7% during the year.

Понятие микросети уже давно перешло из разряда фантастики и популярной науки в область высоких технологий и внедряемых технических решений. Микросеть - это группа взаимосвязанных потребителей и распределенных источников энергии в четко определенных электрических границах, которая действует как единый управляемый объект по отношению к сети [1]. Микросеть может подключаться и отключаться от сети, что позволяет ей работать как в сетевом, так и в автономном режимах. Такое её определение дает возможность идентифицировать большое количество решений с различной мощностью, первичным видом энергетических ресурсов, отсутствием или возможностью генерации с единую энергетическую систему [2]. Такая гибкость понятия «микросеть» позволяет широко внедрять её во всех областях народного хозяйства. Электроэнергетическому сектору необходимо интегрировать новые подходы и методологию энергетического планирования, учитывая источники энергии и как ресурсы снабжения, и как фундаментальные элементы для достижения устойчивого развития [3]. Применение такой технологии особенно актуально в агропромышленном комплексе. Системы электрообеспечения сельскохозяйственных производителей характеризуются высоким уровнем изношенности, а также отсутствием свободных мощностей для внедрения новых технологических решений производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Частичное, точечное внедрение источников распределенной генерации в составе отдельных системы электроснабжения агропромышленных потребителей различной направленности и мощности позволит уменьшить нагрузки на действующие электрические сети, открыть новые резервы для модернизации комплекса, а также повысить рентабельность производства в виду снижения затрат на производство, хранение и переработки продукции [4]. Кроме того, в условиях ухудшения экологической безопасности, применение возобновляемых источников энергии в составе микросетей позволит снизить антропогенную нагрузку, что особенно важно для сельских территорий, к которым сейчас предъявляются высокие требования по качеству и чистоте [5, 6]. Солнечная энергия как источник энергии является одним из основных компонентов комплексной стратегии по достижению перехода к чистой энергетике и достижению целей устойчивого развития к 2030 году [7, 8]. Постоянное снижение стоимости 1 кВт фотоэлектрических установок и необходимость развития возобновляемой распределенной генерации открывают возможность расширения областей применения

и возможностей фотоэлектрической распределенной генерации в распределительных системах электроснабжения [9].

Однако такой подход связан с необходимостью решения большого количества достаточно сложных инженерных задач, а именно - согласование между собой источников распределённой генерации (ветровые, солнечные, дизельные электрические установки), каждый из которых характеризуется своими особенностями функционирования, согласование режимов потребления и генерации, которые очень часто существенно отличаются друг от друга, решение вопросов подключения к единой энергетической системе, выбор и обоснование параметров оборудования источников генерации и т.д. [10, 11]. Кроме того, для повышения конкурентоспособности и распространения такой технологии необходимо объединять различных участников производственно-сбытовой цепочки фотоэлектрических систем как источников распределенной генерации в среде сотрудничества для преодоления технических, экономических, управленческих, политических и рыночных барьеров [12, 13]. Существует несколько вариантов использования фотоэлектрических установок как источников распределённой генерации в составе систем электроснабжения потребителей (микросетей) в среднесрочной и долгосрочной перспективе: небольшие системы и крупномасштабные электростанции. Применение мощных сетевых фотоэлектрических станций связано с решением вопросов подключения, согласования и обеспечения устойчивости национальных энергетических систем [14]. Фотоэлектрические установки, подключенные к распределительной сети, характеризуются рядом преимуществ для электрической системы, таких как сокращение потерь при передаче и распределении энергии, сокращение инвестиций в передачу и распределительные линии и увеличение объема электроэнергии, доступной в периоды пикового спроса [15]. Кроме того, опыт других стран [16, 17] показал, что такая технология может быть использована в качестве конкурентоспособного возобновляемого источника, в том числе в районах с ограниченным доступом или без электричества.

Таким образом, применение технологии фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в составе источников распределенной генерации в системах электроснабжения агропромышленного комплекса страны является одним из наиболее перспективных направлений с точки зрения снижения антропогенной нагрузки на сельских территориях, уменьшения нагрузки на действующие электрические сети, выявления резервов мощности для внедрения современных средств производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

Цель исследования – снизить потребление электрической энергии из сети системой электроснабжения сельскохозяйственного предприятия средствами распределенной генерации, реализованной фотоэлектрическими установками на крышах производственных зданий предприятия.

Объект исследования – система электроснабжения предприятия перерабатывающей отрасли агропромышленного комплекса Ростовской области, Российской Федерации (географические координаты – $\varphi = 46,8^\circ$ с.ш., $\lambda = 40,8^\circ$ в.д.). Генплан предприятия представлен на рис. 1. В состав предприятия входят: склады 1, лаборатория 2, административное здание 3, проходная 4, весовая 5, склад готовой продукции 6, машинное здание 7, мастерская 8, нория 9, сушильно-очистительная башня с силосохранилищем 10, склады 11, станция ГСМ 12, сторожка 13.

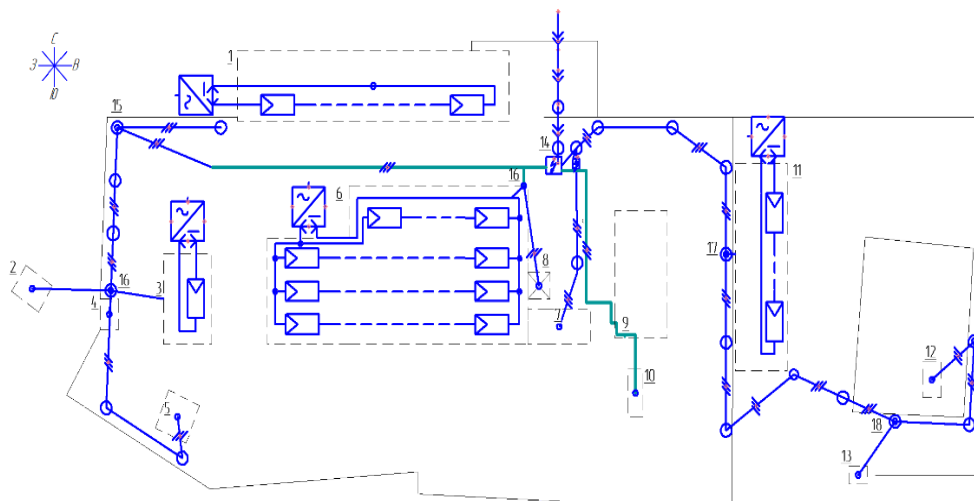


Рис.1. План размещения источников распределенной генерации на сельскохозяйственном предприятии

Математические методы. Количество модулей в составе каждого источника распределённой генерации выбираем из условия, что генерация электрической энергии каждый час меньше или равна её потреблению, и источник работает на потребителя, на крыше производственного здания которого он установлен:

$$W_{\Sigma \Gamma \Pi i} \leq W_{\Sigma \Pi i};$$

где $W_{\Sigma \Gamma \Pi i}$ – часовые суммы выработки электрической энергии i -ым источником электрической энергии (фотоэлектрической установки), кВт·ч:

$$W_{\Sigma \Gamma \Pi i} = \sum_{i=1}^n I_i \cdot \eta_{\Phi \Pi i} \cdot S_{\Phi \Pi i} \cdot n_{\Phi \Pi i};$$

где $\eta_{\Phi \Pi}$, $S_{\Phi \Pi}$, $n_{\Phi \Pi}$ – КПД, площадь и количество выбранных для компоновки фотоэлектрических установок модулей соответственно, о.е., м², шт; $I_{t \beta \gamma}$ – часовые суммы суммарной солнечной радиации на приемную поверхность модуля, расположенного под углами β , ° к горизонту и γ , ° по сторонам света, кВт·ч/м² [18]; $W_{\Sigma \Pi i}$ – часовые суммы потребления электрической энергии i -ым потребителем электрической энергии, кВт·ч (данные реальных графиков нагрузки потребителя).

В результате оптимизации системы электроснабжения сельскохозяйственного объекта будут определены следующие параметры проектируемой фотоэлектрической установки технологии распределённой генерации: месторасположение и ориентация источников распределенной генерации; количество фотоэлектрических модулей $N_{\text{фм}i}$.

Результаты и их обсуждение. Источники распределенной генерации размещены на крышах производственных зданий потребителей 1, 3, 6, 11. Конфигурация крышной установки реализована на фотоэлектрических монокристаллических модулях марки JAM72-365/PR компании NEVEL мощностью 365 Вт [19]. Поиск решения согласно условию (1) осуществлялся для каждого источника по наиболее загруженному сезону: для I_1 – это осень, для I_3 – весна, для I_6 и I_{11} – летний период.

В табл. 1. приведены результаты решения поставленной задачи оптимизации.

Таблица 1

Результаты определения параметров источников распределенной генерации (ИРГ) в составе системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия

Параметры ИРГ	I_1	I_3	I_6	I_{11}
Ориентация по сторонам света γ°	Юг	Восток	Юг	Восток
Угол наклона относительно горизонта β°	15°	15°	39°	15°
Количество модулей N, шт	5	18	7	19
Выработка электроэнергии: за сутки, кВт·сут; за год, кВт·год	10,8 2548	36,9 8081	14,1 3657	38,9 8529
Снижение потребления из сети в год, %	38,3	64,1	47,5	35,4

Для реализации поставленного условия оптимизации (1) использовано 49 модулей JAM72-365/PR, из которых 37 ориентированы на восток под углом 15° к горизонту, остальные на юг под углом 15° – 5 шт., и 39° (оптимальный угол наклона относительно горизонта для рассматриваемого региона) – 7 шт. При этом, в виду отличия от оптимальной пространственной ориентации, фотоэлектрическая установка I_1 характеризуется удельной выработкой на 2,7 % меньшей, а фотоэлектрические установки I_3 и I_{11} – на 14,3 % меньше, по сравнению с оптимально ориентированными модулями I_6 . Суммарное снижение потребление из сети варьируется для каждого потребителя от 35,4% до 61,1%.

Изменение потребления из сети на шинах питающей трансформаторной подстанции в летний период составляет 45,7 %, в осенний – 36,8

%, в зимний – 68,5 % и в весенний – 24,1%. На рис. 2 представлены суммарные месячные значения потребления и выработки электроэнергии на шинах питающей трансформаторной подстанции (РУНН КТП 10/0,4 кВ) сельскохозяйственного предприятия.

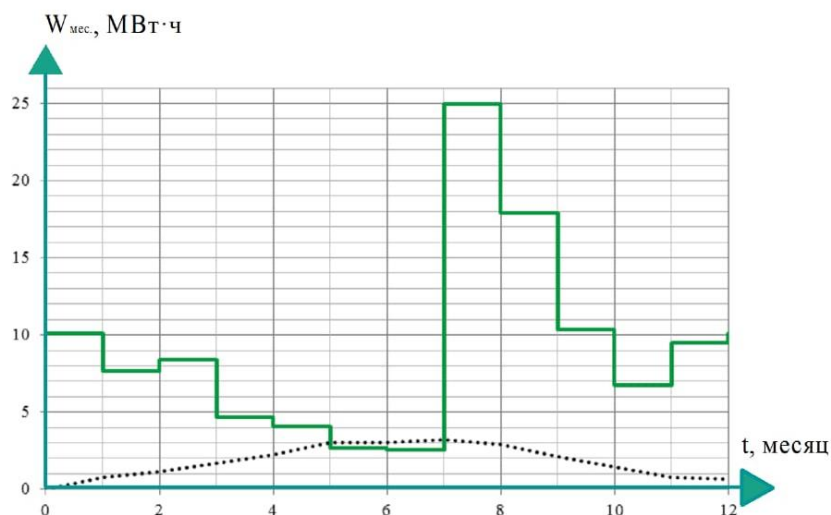


Рис.2. Суммарные месячные потребление и выработка электроэнергии на шинах РУНН КТП 10/0,4 кВ сельскохозяйственного предприятия

Из рис. 2 видно, что закономерность выработки электрической энергии фотоэлектрической установкой определяется закономерностью движения Солнца по небосводу и имеет свой максимум с мая по сентябрь, а минимум в зимнее время. Максимум потребления электрической энергии рассматриваемым предприятием зафиксирован с июля по октябрь. Всё это накладывает свои ограничения при выборе параметров фотоэлектрических установок. Особенно когда установки распределены по территории производственного объекта и характеризуются различными площадями и пространственными ориентациями крыш – мест размещения модулей.

Выводы. Осуществлен поиск решения задачи оптимизации системы электроснабжения на примере предприятия перерабатывающей отрасли агропромышленного комплекса Ростовской области Российской Федерации, с целью снижения потребления электрической энергии из Единой энергосистемы средствами фотоэлектрической распределённой генерации из условия, что выработка электрической энергии каждого часа меньше или равна её потреблению. При этом функционирование источника, установленного на крыше производственного здания дало следующие результаты: было использовано 49 модулей JAM72-365/PR, из которых 37 ориентированы на восток под углом 15° к горизонту, остальные на юг под углом 15° – 5 шт., и 39° (оптимальный угол наклона относительно гори-

зонта для рассматриваемого региона) – 7 шт; суммарное снижение потребление из сети варьируется для каждого потребителя от 24,1% до 61,1%; изменение потребления из сети на шинах питающей трансформаторной подстанции составляет от 36,8 % до 45,7 % в течение года.

Литература

1. Hirsch A., Parag Y., Guerrero J. Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 90, pp. 402-411.
2. Hossain Md A., Pota H. R., Hossain Md J., Blaabjerg F. Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: Challenges and opportunities // *Electrical Power and Energy Systems*, 2019, vol. 109, pp. 160-186.
3. Viana M.S., Junior G.M., Udaeta M.E.M. Analysis of demand response and photovoltaic distributed generation as resources for power utility planning // *Applied Energy*, 2018, vol. 217, pp. 456-466.
4. Sinitsyn S., Panchenko V., Kharchenko V., Vasant P. Optimization of parqueting of the concentrator of photovoltaic thermal module // *Advances in Intelligent Systems and Computing* . 2020, vol. 1072, pp. 160-169.
5. Xinkuo Xu, Chengmei Guan, Jiayu Jin, Valuing the carbon assets of distributed photovoltaic generation in China // *Energy Policy*, 2018, Vol. 121, pp. 374-382.
6. Daus Y.V., Kharchenko V.V., Yudaev I.V., Desyatnichenko D.A., Stepanchuk G.V. Improving the Efficiency of the Power Supply to Agricultural Facilities by Means of Roof-Top Photovoltaic Installations // *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*, 2020, no.56 (3), pp. 207-211.
7. Olivieri L., Caamaño-Martín E., Sassenou L.-N., Olivieri F. Contribution of photovoltaic distributed generation to the transition towards an emission-free supply to university campus: technical, economic feasibility and carbon emission reduction at the Universidad Politécnica de Madrid // *Renewable Energy*, 2020, vol.162, pp. 1703-1714.
8. Daus Y.V., Pavlov K.A., Yudaev I.V., Dyachenko V.V. Increasing Solar Radiation Flux on the Surface of Flat-Plate Solar Power Plants in Kamchatka Krai Conditions // *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*, 2019, no.55 (2), pp. 101-105.
9. Panchenko V., Izmailov A., Kharchenko V., Lobachevskiy Y. Photovoltaic solar modules of different types and designs for energy supply // *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, 2020, vol. 9, no. 2, pp. 74.
10. Liu J., Chen X., Cao S., Yang H. Overview on hybrid solar photovoltaic-electrical energy storage technologies for power supply to buildings // *Energy Conversion and Management*, 2019, vol. 187, pp. 103-121.

11. Daus Y., Yudaev I., Desyatnichenko D. Varying spatial orientation of photoelectric panels as method of managing graph of electric energy generation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1019 (1), 012082.
12. Garlet T.B., Ribeiro J. L. D., Savian F.S., Siluk J. C. M. Value chain in distributed generation of photovoltaic energy and factors for competitiveness: A systematic review // Solar Energy, 2020, vol. 211, pp. 396-411.
13. Hanfang Li, Hongyu Lin, Qingkun Tan, Peng Wu, Chengjie Wang, Gejirifu De, Liling Huang Research on the policy route of China's distributed photovoltaic power generation // Energy Reports, 2020, vol. 6, pp. 254-263.
14. Zhang M., Zhang Q. Grid parity analysis of distributed photovoltaic power generation in China // Energy, 2020, vol. 206, 118165.
15. Patrícia Pereira da Silva, Guilherme Dantas, Guillermo Ivan Pereira, Lorrane Câmara, Nivalde J. De Castro Photovoltaic distributed generation – An international review on diffusion, support policies, and electricity sector regulatory adaptation // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, vol. 103, pp. 30-39.
16. Heideier R., Bajay Valdir S., Paccola A. Impacts of photovoltaic distributed generation and energy efficiency measures on the electricity market of three representative Brazilian distribution utilities // Energy for Sustainable Development, 2020, vol.54, pp. 60-71.
17. Garlet T. B., Ribeiro J. L. D., Savian F.S., Siluk J.C.M. Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, vol.111, pp. 157-169.
18. Daus Y.V., Yudaev I.V., Pavlov K.A., Dyachenko V.V. Increasing solar radiation flux on the surface of flat-plate solar power plants in Kamchatka krai conditions //Applied Solar Energy. 2019. vol. 55. no. 2. pp. 101-105.
19. Hevel company group. Available at: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/>.

*Представлено Санкт-Петербургским
государственным аграрным университетом, и
Донским государственным аграрным ФГБОУ ВО*

УДК 621.316.13

RESEARCH OF THE ISSUE OF IMPROVING THE POWER QUALITY IN THE METALLURGICAL INDUSTRY**M.K. Bobojanov, S.K. Mahmutkhonov, S.S. Aitbaev**

Мақолада металлургия заводининг бош подстанциясида куч трансформаторини алмаштирилгандан сўнг электр энергиясининг сифати ўзгариши ўрганилган. Частота ўзгартиргич, ўзгарувчан юкламали истеъмолчилар (пайвандлаш ускуналари, қисқа вақтдан кейин қайта ишга тушувчи моторлар ва печлар) ва электр сифатига таъсири катта бўлмаган истеъмолчилар алоҳида шинага уланган холда шиналардаги электр энергиясининг сифат кўрсаткичлари ўрганилди. Ушбу тадқиқот ЕТАР дастурий таъминотида амалга оширилди. ЕТАР дастурида металлургия заводининг ички электр таъминоти схемаси модели ишлаб чиқилди. ЕТАР бу моделлаштириши, дизайн, мониторинг, бошқарув, операторларни ўқитиш, оптималлаштириши ва электр тизимларини автоматлаштиришига ихтисослашган аналитик муҳандислик ечимларини таклиф қилувчи дастур хисобланади. Дастурда металлургия заводининг электр таъминот занжири шиналаридаги кучланишининг 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 чи гармоникаларнинг ҳосил бўлиши ва ўзгариши ўрганилган.

Ишлаб чиқилган моделда металлургия заводининг бош трансформаторини бир хил кучланишли чўлғамлари бўлинган трансформаторларга ўзгартириб, юқори гармоника тоқларини ҳосил қилувчи истеъмолчиларни алоҳида шинага, электр энергияни сифатига таъсири катта бўлган истеъмолчиларни еса алоҳида шинага улаб, ҳар иккала шинадаги электр энергияси сифатини таҳлил қилинди. Тадқиқот шуни кўрсатадики, куч трансформаторларини алмаштириши натижасида шиналардаги кучланиш 5-гармоникасинг егри чизиқлилиқ коэффициенти 7,757% дан 6,04% гача ва 3,242% гача камаяди.

В статье исследуются изменения качества электроэнергии после замены силового трансформатора на главной подстанции металлургического завода. Преобразователи частоты, потребители с резко изменяемыми мощностными характеристиками (различные типы сварочного оборудования, мощные двигатели и печи, которые снова запускаются через короткий промежуток времени) оказывают влияние на качество электроэнергии. Исследован процесс изменения качественных параметров напряжения на шинах путем переключения потребителей с одной шины на другие. Исследование проводилось на программном комплексе ЕТАР, в котором разработана модель схемы внутреннего электроснабжения металлургического завода. ЕТАР - это программа, предлагающая

аналитические инженерные решения, специализирующаяся на моделировании, проектировании, мониторинге, управлении, обучении операторов, оптимизации и автоматизации энергосистем. Использование программы изучено образование и изменение гармоник в шинах цепи питания металлургического завода, в частности изучены 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 и 25 гармоники, присутствующие в кривой напряжения.

В разработанной модели мы поменяли силовой трансформатор металлургического завода на трансформаторы с расщепленной обмоткой аналогичного напряжения, подключив потребителей, генерирующих высокие гармоники, к отдельной шине, а потребителей, оказывающих незначительное влияние к другой шине и проанализировали качество электроэнергии. Исследование показывает, что коэффициент кривой 5-й гармоники высшего порядка на шинах снизился с 7,757% до 6,04% и 3,242% за счет применения трансформатора с расщепленной обмоткой.

The article examines the issues of improving the power quality in the metallurgical industry by replacing the power transformer at the main substation, consumers of high-harmonic currents in a mining and metallurgical enterprise, namely frequency-converting devices, consumers with abruptly changing power characteristics (various types of connecting devices and low-power electric devices, short-circuit power devices) and also the process of changing the quality of the voltage on these buses was studied by transferring consumers from one bus to another. This research was conducted on the ETAP software package. The ETAP software developed a model of the internal power supply scheme of a steel plant. ETAP is a program offering analytical engineering solutions specializing in modeling, design, monitoring, control, operator training, optimization and automation of power systems. The program studies the formation and variation of harmonics in the power supply buses of the steel mill, in particular studying the 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, and 25 harmonics present in the voltage curve.

In the developed module, we changed the power transformer of the metallurgical plant to transformers with split winding of similar voltage, connecting consumers generating high harmonics to a separate bus, and consumers with minor influence to a separate bus and analyzed by power quality. The study shows that the coefficient of the curve of the 5th harmonic of higher order in the busbar is reduced from 7.757% to 6.04% and 3.242% due to the use of a transformer with split winding.

The concept of "quality" is applicable to electrical energy, as well as to any type of product. Inconsistency of electrical energy with the requirements for its quality leads to the fact that the consumption of electrical energy under normal conditions can pose a danger to human health, the environment and

harm the property of consumers and increase the energy intensity of technological processes.

The quality of electrical energy is determined by the totality of its characteristics, in which electrical receivers can work normally and perform their functions. Now the entire set of parameters characterizing the suitability of electrical energy for transmission and consumption processes is summarized in GOST 32144-2013 "Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems" [1].

Non-sinusoidal voltages and currents are one of the most important indicators of the quality of electrical energy, since it affects the operation of almost all types of electrical receivers.

The power quality depends not only on the processes of electricity production, but also on the processes of its transportation to the place of consumption, as well as on the processes of its consumption by electrical installations, i.e. the culprit for the occurrence of non-sinusoidal voltages can be both the power supply organization and the consumer with nonlinear volt-ampere characteristics.[2,3,4]

The main forms of the impact of higher harmonics on power supply systems are:

- increase in currents and voltages of higher harmonics due to parallel and serial resonances;
- decrease in the efficiency of the processes of generation, transmission, use electricity;
- aging of electrical equipment insulation and reduction of its service life;
- false operation of the equipment.

Voltage and current harmonics lead to additional losses in the stator windings, in the rotor circuits, as well as in the stator and rotor steel. Losses in the stator and rotor conductors due to eddy currents and surface effect are greater than those determined by ohmic resistance. Leakage currents caused by harmonics in the stator and rotor end areas result in additional losses. The average distribution of losses from higher harmonics is characterized by the following data: in the stator winding 14%; in the rotor circuit 41% and asymmetric ripple 26%.[5,7]

Harmonics of the current in the stator give rise to the corresponding torques: harmonics forming a positive sequence in the direction of rotation of the rotor, and forming a reverse sequence in the opposite direction.[8,9,15]

Harmonic currents in the stator of the machine cause a driving force, which leads to the appearance on the shaft of torques in the direction of rotation of the harmonic magnetic field. They are usually very small and, moreover, are partially compensated due to the opposite direction. Despite this, they can cause vibration of the motor shaft.[11,16,17]

Harmonics of the current in the lines lead to additional losses of electricity and voltage. In cable lines, voltage harmonics increase the effect on the dielectric in proportion to the increase in the maximum amplitude value. This, in turn, increases the number of cable failures and the cost of repairs.

In EHV lines, voltage harmonics for the same reason can increase corona losses.

Voltage harmonics cause an increase in hysteresis and eddy current losses in steel in transformers, as well as winding losses.[13,14,15]

Higher harmonics can affect SCR equipment in several ways:

- notches on the voltage sine wave cause malfunction due to misfire of thyristors;
- voltage harmonics can cause ignition at the wrong moment;
- the resulting resonance in the presence of different types of equipment can lead to overvoltages and oscillations of machines.

The impacts described above can be felt by other consumers connected to the same network. If the consumer has no difficulty with thyristor-controlled equipment in their networks, he is unlikely to have an impact on other consumers.

Consumers powered by different buses can theoretically influence each other, but electrical distance reduces the likelihood of such interaction.

Problems with the deterioration of the power quality in the metallurgical industry

In the article, consumers of high-harmonic currents in a mining and metallurgical enterprise, namely frequency-converting devices, consumers with abruptly changing power characteristics (various types of connecting devices and low-power electric devices, short-circuit power devices) are studied and also the process of changing the quality of the voltage on these tires was studied by transferring consumers from one tire to another. This research work was conducted using the ETAP program.

ETAP® is an analytical engineering solution program specializing in modeling, design, monitoring, control, operator training, optimization and automation of power systems.

In the " ETAP®" program, a model of the internal power supply scheme of the metallurgical plant was developed. The program studied the formation and change of harmonics in the tires of the power supply circuit of the metallurgical plant, in particular, the 5th, 7th, 11th, 13th, 17th, 19th, 23rd and 25th harmonics on the voltage curve. Figure 1 shows the power supply scheme of the metallurgical plant. Here Bus1 bus is supplied through the 35 kV line of the power system. Bus1 is connected to the bus with a transformer with a capacity of 10 MVA and a voltage of 35 kV. This transformer is a main step-down transformer, which reduces the bus bus voltage to 6.6 kV. Bus2 uses a 300kW asynchronous motor with a 1 km cable, a load of 4 MVA from a cable of the same length, a 160kVA transformer that reduces the 6.6 kV voltage to 0.4 kV,

and a range of 5 to 5 gallons of power. The device consumes 300 kW of asynchronous motor power. In addition, a 0.4 kV to 6.6 kV transformer with a capacity of 250 kVA on the Bus2 bus transmits the power coming through the inverter of the solar panels on the Bus 3.

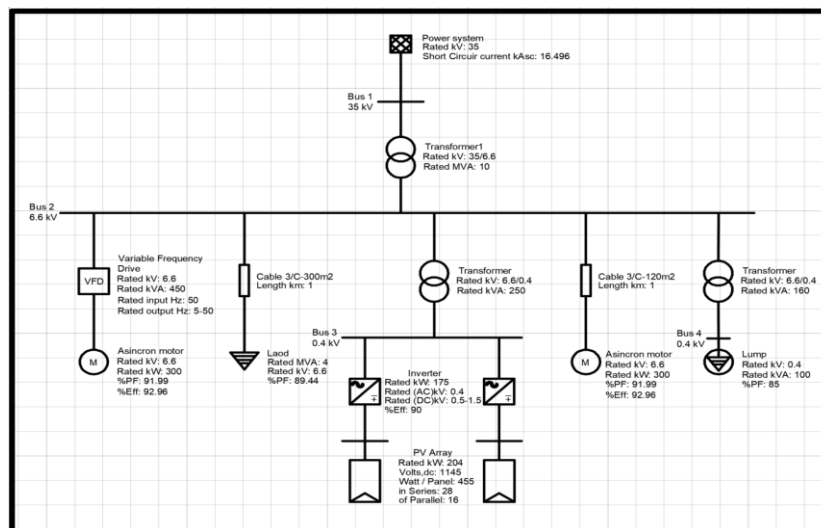


Fig.1. Metallurgical plant internal power supply scheme

When the voltage pattern on the bus 2 was analyzed, it was found that it differed from the sinusoid and contained higher harmonics, in particular, harmonics 5, 7, 11, 13, 17, 19, and 23. The form of the voltage and the diagram of the high harmonics are shown in Figures 2.3.

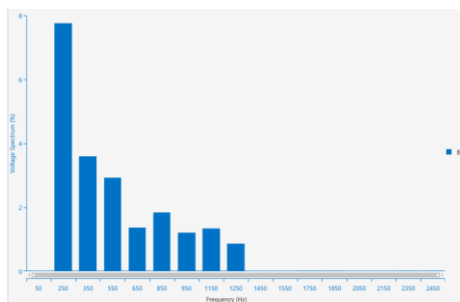


Fig.2. Fluctuation of high harmonics of bus2 voltage

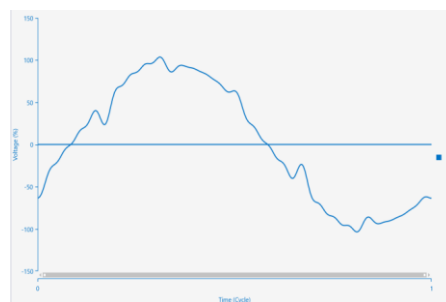


Fig.3. Spectral view of high harmonics of bus2 voltage

The results of the calculations for levels 1, 2, 3, and 4 of the above power supply scheme using the ETAP program are shown in Table 1.

It can be seen from this table that the coefficient of nosinusoidality of the 5th harmonic in tier 2 (Bus2) tires is 7.757%, which is more than 5% of the norm adopted in GOST 32144-2013 for the current power quality.

Table 1

Report									
№	Busbars	Parameters	250Hz (5)	350Hz (7)	550Hz (11)	650Hz (13)	850Hz (17)	950Hz (19)	1150Hz (23)
1	Bus1	Un(V)	290	134	108	50	67	44	48
		Kn(%)	0.828	0.382	0.308	0.142	0.191	0.125	0.137
2	Bus2	Un(V)	512	237	193	90	121	80	88
		Kn(%)	7.757	3.590	2.924	1.363	1.833	1.21	1.33
3	Bus3	Un(V)	29	13	11	5	7	5	5
		Kn(%)	7.25	3.25	2.75	1.25	1.75	1.25	1.25
4	Bus4	Un(V)	29	13	9	4	4	3	2
		Kn(%)	7.25	3.25	2.25	1	1	0.75	0.5

Among the electricity consumers in this system are the VFD and Load consumers who generate high harmonic currents. VFD is a frequency converter used to adjust the speed of an asynchronous motor during production and to start the motor lightly, Load is connected to loads that have a large impact on the power quality (e.g. small power frequency converters, electric arc furnaces, welding transformers, etc.). k) is the load. Consumers who create high harmonics in the factory power supply have a serious impact on the quality of the voltage on the bus. Therefore, substandard electricity affects the work process of other types of consumers connected to this bus, causing them to overheat, wear insulation, sharply reduce operating time and increase production process failures, poor lighting distribution of the lighting system to the eyes of workers and work. may adversely affect productivity.

In addition, solar panels are connected to the Bus3 level tires via inverters, which inverters perform the function of converting a constant current to an alternating current and provide synchronization in the circuit.

If the quality of the voltage in the network exceeds the established norm, it is possible to observe cases of disconnection of solar panels from the electrical system through the inverter, leading to a violation of synchronization. To prevent such cases, devices that generate high harmonics in the design of industrial plants are connected to the busbars separately from other consumers through a separate transformer and secondary winding transformers, reactors.

Solution of the problem

In the above, we will analyze the quality of voltage in each bus separately by replacing the power transformer at the main substation of the metallurgical plant with distribution transformers of the same power, connecting consumers who generate high harmonics to a separate bus and consumers who do not have a significant impact on power quality. In this case, the factory power supply diagram will look like the following (Fig.4).

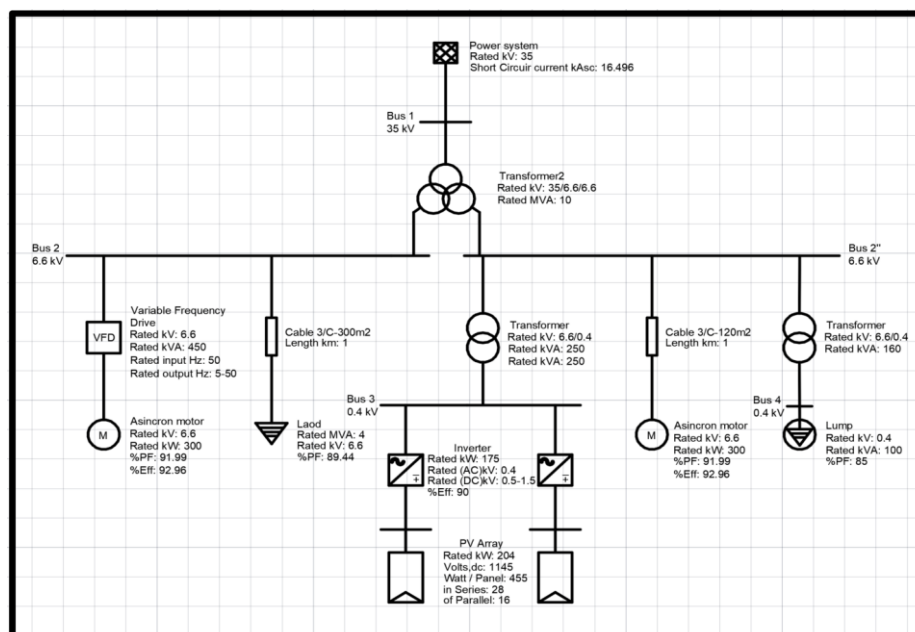


Fig.4. Modified internal power supply scheme of the metallurgical plant

The results of the study show that such separation of consumers leads to an improvement in the quality of tension in the tires. We can see that the non-sinusoidality coefficients of the voltage across both tires are reduced. The diagram of the upper harmonics is shown in Fig.5. Table 2 shows the calculation results for levels 1, 2, 3, and 4 of the power supply scheme.

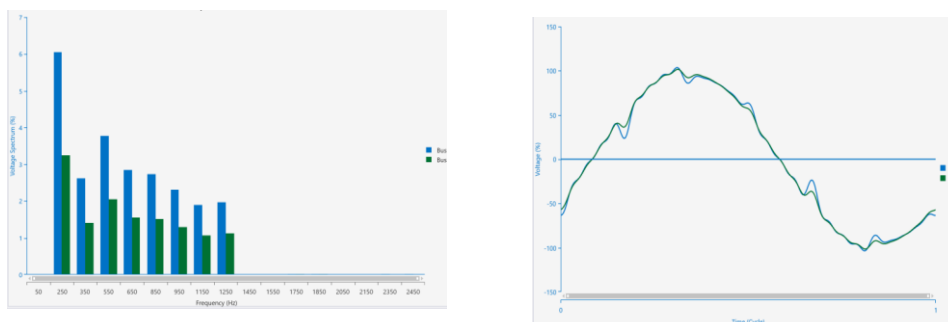


Fig.5. Spectral and wavy view of high harmonics of voltage in Bus2 and Bus2'' tires. The blue images in the images belong to Bus2 and the green images to Bus2''.

From the spectral diagram above, we can see that the high harmonic coefficients of the voltage of the connected bus (Bus2), which generates high harmonics in blue, are expressed as a percentage, which is much lower than in the previous case.

Table 2

Report									
№	Busbars	Parameters	250Hz (5)	350Hz (7)	550Hz (11)	650Hz (13)	850Hz (17)	950Hz (19)	1150Hz (23)
1	Bus1	Un(V)	191	82	117	88	83	69	55
		Kn(%)	2.893	1.242	1.772	1.333	1.257	1.045	0.833
2	Bus2	Un(V)	399	173	249	188	180	152	125
		Kn(%)	6.04	2.621	3.772	2.848	2.727	2.303	1.893
3	Bus2"	Un(V)	214	93	135	102	100	85	71
		Kn(%)	3.242	1.409	2.045	1.545	1.515	1.287	1.075
4	Bus3	Un(V)	12	5	8	6	6	5	4
		Kn(%)	3	1.25	2	1.5	1.5	1.25	1
5	Bus4	Un(V)	12	5	6	4	4	3	2
		Kn(%)	3	1.25	1.5	1	1	0.75	0.5

The high harmonic coefficients of the connected bus with consumers with a low level of impact on the power quality are shown in green. In it we can see a significant decrease in high harmonics. In the waveform diagram above, it can be observed that the waveform of the voltage differs from the sinusoid. The high harmonics generated in blue represent the wavy shape of the connected bus voltage. The shape depicted in green is a wavy view of the bus voltage connected to consumers with little effect on the power quality. The two wavy shapes do not differ much in shape from each other. The shape is relatively closer to the sinusoid because the high harmonic coefficients of the voltage form described only in green are relatively lower than those in blue. This means that the effect of the high harmonics generated on one side of the low voltage split transformer on the other side is present, albeit to a lesser extent. The results show that the 5th harmonic coefficient of the voltage on the bus2 bus in the previous power supply circuit (Figure 1) is 7.76%, the 5th harmonic coefficient of the voltage on the bus2 and Bus2 " tires in the next power supply circuit (Figure 5) is 6.04. % and down to 3.242% and on Bus3 and Bus 4 tires from 7.25% to 3%. This leads to the supply of voltage that meets the quality requirements of consumers who do not generate high harmonics and increase their service life.

Conclusion

The results of the above studies show that high harmonics can occur in the power supply system due to a nonlinear power consumer or a non-sinusoidal power generation source connected to the power grid. The connection of consumers to a separate bus, which generates high harmonics in industrial enterprises, leads to a better quality of voltage in the connected bus of consumers with less impact on the power quality. In the considered variant, by using a distribution transformer in the power supply circuit, the curvature coefficient of

the 5th harmonics of the high harmonics in the tires ranged from 7.757% to 6.04% and 3.242%, the 7th harmonic curve from 3.59% to 2.62% and 1, To 4%, the 11-harmonic curvature coefficient decreased from 2.924% to 2.045%, and so on.

Consumers who do not generate high harmonics are brought to a state where the voltages on the connected bus meet the requirements of the norm. Therefore, it is advisable for enterprises to take this into account when designing power supply schemes and connect consumers to individual busbars via distribution transformers.

References

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. <http://docs.cntd.ru/document/1200104301>.
2. Соколов В.С. Проблемы мониторинга качества электрической энергии / В.С. Соколов, Промышленная энергетика. – 2004. – № 1. – С. 25–29.
3. Соколов В. С. Качество электрической энергии современное состояние, проблемы, предложения по их решению – Новосибирск «НАУКА» 2017г <http://isem.irk.ru/upload/iblock/b2c/b2c78d180c2fe6ca58d988782885da5b.pdf>
4. Бриюков С.В., Паршукова А.В. Нормы качество электрической энергии <https://cyberleninka.ru/article/n/normy-kachestva-elektricheskoy-energii/viewer>.
5. Афанасенко А. С. Оценка влияния потребителей и энергоснабжающей организации на искажение напряжения в точке общего присоединения / А. С. Афанасенко, Д. С. Федосов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 11(58). – С. 190-193.
6. Баглейбтер О. И. Методы расчета цепей с нелинейными нагрузками / Баглейбтер О. И., Устинов А. А. / Энергетика – управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов 3-ей всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Благовещенск, 2003.
7. Баглейбтер О. И. Разработка математических моделей и методов для оценки влияния участников системы электроснабжения на качество электроэнергии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18: защищена 26.10.06 / О. И. Баглейбтер. – Иркутск, 2006. – 20 с.
8. Висящев А. Н. Метод определения параметров схем замещения потребителей для оценки их влияния на искажение напряжения в электрической сети / А. Н. Висящев, Д. С. Федосов / Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всероссийской научнопрактической конференции с международным

участием (Иркутск, 26-30 апреля 2011 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – С. 321-325.

9. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

10. Карташев, И. И. Исследование влияния источников высших гармоник на качество электроэнергии в электроэнергетических системах 220–500 кВ / И. И. Карташев. Курбацкий В. Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях: Учебное пособие / В. Г. Курбацкий. – Братск: БрГТУ, 1999. – 220 с.

11. Федосов Д. С. Оценка влияния потребителей и энергоснабжающей организации на искажение напряжения в точке общего присоединения / Д. С. Федосов / Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: Материалы V Всероссийской научно-технической интернетконференции (1-30 ноября 2011 г.). – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012. – С. 66-76.

12. Маркушевич Н.С., Солдаткина Л.А. Качество напряжения в городских электрических сетях. - М.: Энергия, 1975. — 256 с.

13. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. - М. Энергоатомиздат, 1986. 168 с.

14. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 224 с.

15. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 336 с.

16. Шидловский А.К., Куренный Э.Г. Введение в статистическую динамику систем электроснабжения. Киев: Наук, думка, 1984. - 273 с.

17. Жежеленко И.В., Саенко Ю.П., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах электрических нагрузок потребителей. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 128 с.

*Presented by Tashkent
state technical university*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНОЙ
СУШИЛЬНО-ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ****Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев, Г.Ю. Рузикулов**

Ушбу ишнинг мақсади - иссиқлик насосининг конденсатор қисмида иссиқлик энергиясининг йўқотилиши бартараф этиладиган, қуёш энергияси ва иссиқлик насосли қурилмаларидан самарали фойдаланиш асосида энергия тежамкор қуритиш- совутиш камерасини ишлаб чиқишдан иборат. Мақолада қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуритиш ва сақлаш учун комбинациялашган қуёш-иссиқлик насосли тизим таклиф қилинган бўлиб, ушбу тизим ишлаб чиқариладиган маҳсулотлар учун энергия сарфини камайтириш имконини беради ҳамда қуритиш ва совутиш камерасида барқарор иссиқлик ва совуқлик таъминотини таъминлайди. Қуёш-иссиқлик насосли қуритиш ва совутиш камераси (ҚИНҚСК)нинг тажриба варианты ишлаб чиқилган бўлиб, иссиқлик насоси билан сақлаш камерасини совутиш ва бир вақтнинг ўзида конденсатор қисмидаги иккиламчи иссиқлигидан фойдаланиб қуритиш камерасини иссиқлик билан таъминлаш самарали эканлиги асосланган. Қарши шаҳри табиий-иклим шароитида иссиқлик насоси ва қуёш ҳаво коллекторлари ишлаши давомида қуритиш-совутиш камерасининг иссиқлик ва намлик режими тажрибаларда тадқиқот қилинган.

Целью настоящей работы является разработка энергосберегающего режима сушильно-холодильной камеры на основе использования солнечной энергии и теплонасосных установок, при котором уменьшаются потери тепловой энергии в конденсаторной части теплового насоса. В работе предложена комбинированная солнечно-теплонасосная система для сушки и охлаждения сельхозпродуктов, которая позволит снизить затраты энергии на выпускаемую продукцию и обеспечить устойчивое теплоснабжение сушильно-холодильной камеры. Разработана солнечно-теплонасосная сушильно-холодильная камера (СТСХК), рассматривается целесообразность использования теплового насоса для одновременного охлаждения холодильной камеры и теплоснабжения сушильной камеры с утилизацией тепловых выбросов конденсатора теплового насоса. Экспериментально исследованы тепловлажностные режимы сушильно-холодильной камеры в природно-климатических условиях г. Карши при работе теплового насоса и воздушных солнечных коллекторов.

The purpose of this work is to develop an energy-saving drying and cooling chamber based on the efficient use of solar energy and heat pump installations, which eliminates the loss of thermal energy in the condensing part of the heat pump. The paper proposes a combined solar-heat pump system for drying and cooling agricultural products, which will allow reducing energy costs for manufactured products and provide a stable heat and cold supply to the drying and cooling chamber. A solar heat pump drying and refrigerating chamber (SHPDRCH) has been developed and the feasibility of using a heat pump for simultaneous cooling of the refrigerating chamber and heat supply of the drying chamber with utilization of thermal emissions from the heat pump condenser is being considered. The thermal and humidity regimes of the drying and cooling chamber in the natural and climatic conditions of the city of Karshi were experimentally investigated during the operation of a heat pump and air solar collectors.

Введение. Энергетическая проблема в мире приобрела глобальный характер, возникла необходимость своевременной перестройки энергетической базы и поиска путей освоения возобновляемых и экологически чистых источников энергии. В связи с этим необходимо разрабатывать энергосберегающие и экологически чистые технологии, создавать тепло-энергетическое оборудование, использующее возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

В нашей республике особое внимание уделяется внедрению энергоэффективных технологий использования ВИЭ и принимаются меры по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере с применением солнечных, биогазовых и теплонасосных установок [1].

Ученые и специалисты в этой области подтверждают, что использование ВИЭ способствует усилению энергобезопасности государства, снижению энергоемкости внутреннего валового продукта, сохранению энергоресурсов страны, уменьшению экологической напряженности и т.д. [2,3].

Технологические процессы сушки, охлаждения и хранения плодово-овощных продуктов (ПОП) являются энергоемкими процессами. Проведенные нами исследования показывают, что удельный расход энергии при сушке сельхозпродуктов составляет 3,0-7,5 кВт·час/кг, а при хранении находится в пределах 3,0-3,5 кВт·час/кг [4]. Высокая энергоёмкость сушильных установок и холодильных агрегатов, повышение затрат на производство электроэнергии, тепла и искусственного холода требуют создания энергоэффективных видов оборудования сушильно-холодильных систем. Одним из способов экономии энергии и совершенствования систем теплоснабжения сооружений для сушки и хранения

ПОП является применение энергоэффективных солнечных тепловых установок и тепловых насосов (ТН).

В области использования солнечной энергии и ТН для сушки сельхозпродуктов было проведено множество исследований отечественными и зарубежными учеными [5-14]. Анализ конструкций эксплуатируемых сушильных установок показывает, что существующие технологии сушки и хранения ПОП недостаточно эффективны, имеют высокую энергоемкость и требуют больших затрат тепловой и электрической энергии [15-20].

Целью данной работы является разработка и исследование энергосберегающего режима сушильно-холодильной камеры на основе использования солнечной энергии и теплонасосных установок, в которой значительно уменьшаются потери тепловой энергии в конденсаторной части теплового насоса.

Методы и материалы. На научном полигоне “Альтернативные источники энергии” Каршинского инженерно-экономического института нами создана экспериментальная солнечно-теплонасосная сушильно-холодильная камера (СТСХК), которая обеспечивает одновременность термической сушки и холодильное хранение ПОП. Предложенная СТСХК представляет собой биоэнергетический комплекс, в который входят: сушильная камера 4, подземная холодильная камера 13, воздушный солнечный коллектор (ВСК) 1, аккумулятор тепловой энергии 15, теплонасосная установка 10,11 (рис.1).

Разработанный биоэнергетический комплекс состоит из сушильной (верхняя часть) и холодильной камер (подземная часть) и работает следующим образом. Тепловой насос (ТН) охлаждает подземную холодильную камеру, при этом испаритель ТН отнимает теплоту из внутреннего объема холодильной камеры, а в конденсаторном узле низкопотенциальной тепловой выброс утилизируется в сушильной камере. Утилизация низкопотенциального тепла конденсатора ТН поддерживает требуемый температурный режим сушильной камеры. Остальная часть тепловой нагрузки сушильной камеры обеспечивается воздушным солнечным коллектором и пассивной солнечной системой. Таким образом, происходит использование ТН, активной воздушный солнечный коллектор - (ВСК) и пассивной (светопрозрачная стена сушильной камеры) частями солнечной установки. Аккумулирование излишков тепла полностью обеспечивает требуемую тепловую нагрузку сушильной камеры. Утилизация тепловых выбросов ТН, использование энергии солнечного излучения для подогрева сушильного агента (воздух), с помощью солнечных установок, позволяет полностью замещать традиционную энергию в сушильной камере.

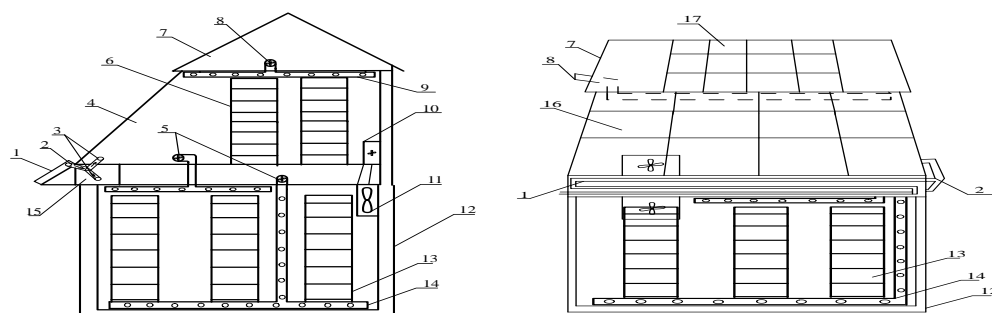


Рис.1. Схемы комбинированной солнечно - теплонасосной и сушильно - холодильной камер: 1 - ВСК; 2 - выходной канал воздушного солнечного коллектора; 3 - входной канал воздуха в аккумулятор тепловой энергии и сушильную камеру; 4 - сушильная камера; 5 - вентиляторы холодильной камеры; 6 -стеллаж сушильной камеры; 7 - перекрытие сушильной камеры; 8 -вентилятор сушильной камеры; 9 - воздушной канал; 10 - конденсатор теплового насоса; 11 - испаритель теплового насоса; 12 - наружное ограждение; 13 - штабель холодильной камеры; 14 - воздушный канал холодильной камеры; 15 - аккумулятор тепловой энергии; 16 -светопрозрачная лучевоспринимающая поверхность сушильной камеры; 17 - солнечные фотоэлектрические панели.

В предложенной системе замкнутого цикла, применение термодинамического цикла ТН для одновременного охлаждения и теплоснабжения, создают требуемые теплотехнические условия для сушки различных плодовоовощных продуктов без затрат дорогостоящей традиционной энергии (тепло, электроэнергия). Для исследования тепловлажностного режима принят метод натурного испытания теплотехнических установок. Основные характеристики и параметры СТСХК приведены в табл.1.

Таблица 1

Основные параметры солнечно - теплонасосной сушильно-холодильной камеры

Т/Р	Параметры	Единица измерения	Обозначение	Величина
1	Электрическая мощность теплового насоса	кВт	$N_{эл}$	1,1
2	Количество хладагента R22A	кг	$m_{ф.}$	4,2
3	Электрическая мощность систем вентиляции и освещения камер	кВт	$N_{эл}$	0,062
4	Объем сушильной камеры	$м^3$	V_c	8,0
5	Объем холодильной камеры	$м^3$	$V_{хк}$	5,0

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

6	Вместимость сушильной камеры	т	G_c	$2,0 \div 2,5$
7	Вместимость холодильной камеры	т	$G_{хк}$	$2,0 \div 2,5$
8	Рабочая температура в сушильной камере	$^{\circ}\text{C}$	$t_{оп}$	50 - 60
9	Температурный режим холодильной камеры	$^{\circ}\text{C}$	$T_{хк}$	$-5 \div +10$
11	Влажность воздуха в сушильной камере	%	φ	30-40
12	Оптимальная влажность воздуха в холодильной камере	%	φ	80-95



а)



б)



в)

Рис.2. Общий вид солнечно-теплонасосной сушильно-холодильно камеры: а) холодильная камера; б) сушильная камера; в) общий вид сушильно-холодильной камеры

Результаты и обсуждение. Проведены экспериментальные исследования тепло- и влажностного режимов СТСХК в природно-

климатических условиях г.Карши. Эксперименты проводились в научном полигоне кафедры «Альтернативные источники энергии» Каршинского инженерно-экономического института. Измерения температуры проводилось с использованием хромель-копелевых термопар типа ХК в комплекте с самопишущим прибором КСП-4, Относительная влажность воздуха измерялись гигрометрами ВИТ-1, ВИТ-2, цифровыми термогигрометрами ТГЦ-МГ4; падающая солнечная радиация - актинометром Mac Solar (Германия). Результаты измерений представлены в табл.2.

Таблица 2

Результаты экспериментального исследования
температурно - влажностного режима СТСХК

Результаты экспериментов (20.11.2020 г.)						
Время измерения	Относительная влажность воздуха в сушильной камере, %	Температура воздуха в сушильной камере, °С	Солнечная радиация Вт/м ²	Температура воздуха в холодильной камере, °С	Относительная влажность воздуха в холодильной камере, %	Температура наружного воздуха, °С
9 ⁰⁰	37	44,8	350	-3	86	-10
10 ⁰⁰	35	47,5	780	-1	86	-6
11 ⁰⁰	35	52,0	860	-1	85	-5
12 ⁰⁰	34	53,3	970	-4	90	-2
13 ⁰⁰	32	55,0	993	-5	87	-2
14 ⁰⁰	33	57,4	996	-7	87	-3
15 ⁰⁰	33	57,0	940	-6	90	-5
16 ⁰⁰	35	52,8	660	-6	91	-6
17 ⁰⁰	32	48,0	510	-6	91	-8
18 ⁰⁰	32	43,6	90	-6	94	-8
19 ⁰⁰	33	42,1	0	-6	92	-9
20 ⁰⁰	34	42,3	0	-6	92	-9

Эксперименты проводились для характерных суток (20.11.2020 г), т.е. при холодных погодных условиях с учетом изменения падающей солнечной радиации на светопрозрачную лучевоспринимающую поверхность солнечной установки. Результаты экспериментов обобщены в виде графиков и представлены на рис. 3 и 4.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что температура воздуха в сушильной камере достигает $55-57^{\circ}\text{C}$ в $13^{00}-14^{00}$ при интенсивности солнечной энергии $970-996 \text{ Вт/м}^2$. Средняя температура в холодильной камере составила $-4... -6^{\circ}\text{C}$. Влажность воздуха, соответственно, составила 32-33% в сушильной камере, 87-90% в холодильной камере. Таким образом, установленный тепловлажностной режим СТСХК полностью отвечает технологическим требованиям сушки и хранения ПОП.

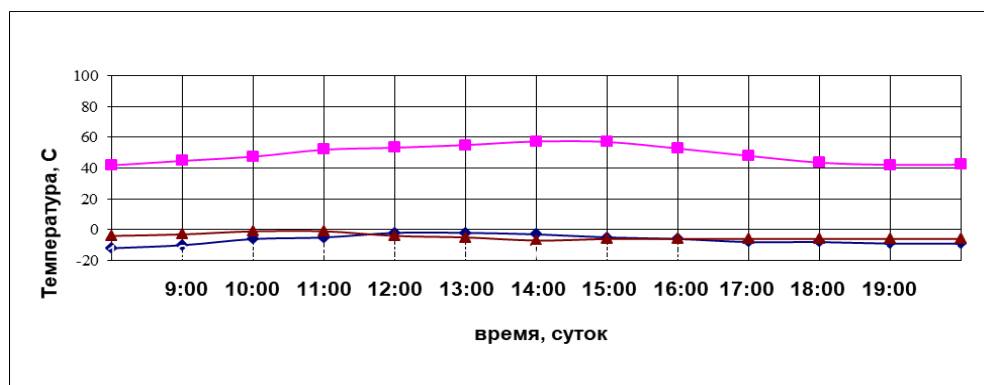


Рис.3. График температурного режима сушильно-холодильной камеры:

—♦— температура наружного воздуха; —■— температура СК;
—▲— температура ХК

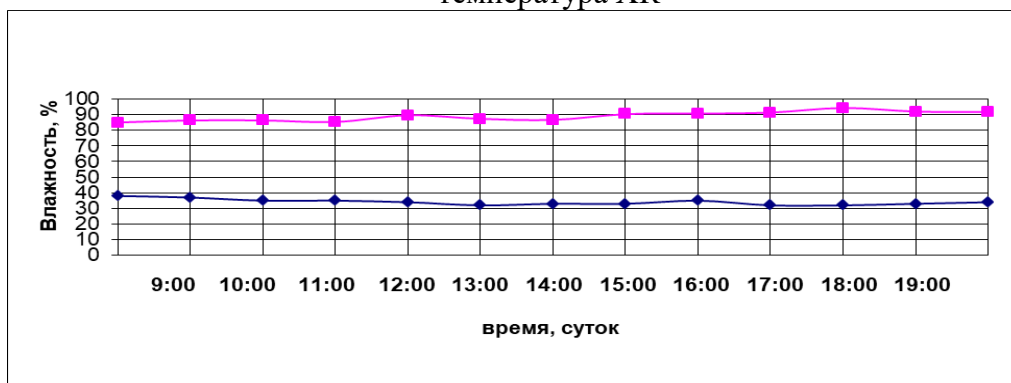


Рис.4. График влажностного режима сушильно-холодильной камеры:

—♦— относительная влажность воздуха в сушильной камере;
—■— относительная влажность в холодильной камере

Закключение. 1. Разработанная комбинированная СТСХК является компактной, легко управляемой, ее можно использовать в фермерских хозяйствах и перерабатывающих предприятиях, занимающихся хранением и переработкой плодоовощных продуктов.

2. Использование комбинированной солнечно-теплонасосной системы позволяет снизить энергоёмкость процессов сушки и охлаждения сельхозпродуктов.

3. На основе полученных результатов разработаны тепловлажностные режимы солнечно-теплонасосной сушки и охлаждения ПОП.

4. Результаты исследования показали возможность использования солнечной энергии и теплонасосной установки для сушки и хранения ПОП.

5. Комбинированное использование солнечной энергии и утилизация тепла от ТН, позволяет осуществить 100 %-ую возможную экономию энергии при поддержании необходимого температурного режима.

Литература

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 26 мая 2017 года №ПП-3012 “О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы”.

2. Аллаев К.Р. Энергетика нуждается в стратегии //Экономическое обозрение. - 2018.- №6 (222). - С.40-47.

3. Захидов Р.А. Инновационные технологии в энергетике и освоение возобновляемых источников энергии в Узбекистане //Проблемы информатики и энергетики. - 2014.- №5. – С. 56-64.

4. Узаков Г.Н. Научные основы повышения энергоэффективности систем теплоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии.- Ташкент: Фан, 2012. – 216 с.

5. Fudholi A., Sopian K. A Review of solar air flat plate collector for drying application, Renew.Sustain. Energy Rev. 102 (2019) 333-345.

6. Prasertsan S., Sean-saby P. Heat pump drying of agricultural materials, Dry.Technol.16 (1998) 235-250.

7. Colak N., Hebbasli A., A review of heat-pump drying (HPD): Part 2-applications and performance assessments Energy Convers.

8. Mohanraj M., Belyayev Ye., Jayaraj S.,Kaltayev F. Research and developments on solar assisted compression heat pump systems-a comprehensive review (Part A: modeling and modifications), Renew. Sustain. Energy Rew. 83(2018) 90-123.

9. Mohanraj M., Belyayev Ye., Jayaraj S.,Kaltayev F. Research and developments on solar assisted compression heat pump systems-a comprehensive review (Part B: applications), Renew. Sustain. Energy Rew. 83(2018) 124-155.

10. Захидов Р.А., Киргизбаев Д.А., Нуриддинов Х.Н., Результаты испытаний солнечной сушилкой установки //Гелиотехника. -1990. - №2. – С. 3 - 6.
11. Умаров Г.Г., Мирзиёев Ш.М., Юсупбеков О.Н. Гелиосушка сельхозпродуктов. Ташкент: Фан, 1994. – 213 с.
12. Умаров Г.Я., Авезов Р.Р., Ахмадалиев А. Испытание солнечных фруктосушильных установок. //Гелиотехника, 1972, - № 5. - С. 43-45.
13. Назаров М.Р., Назарова Н.М., Зайниев Х.А. Расчёт и проектирование солнечно-тепловой сушильной установки для плодов и ягод. //БухДУ илмий ахбороти. -2017/1(65). - С.17-20.
14. Веселова Н.М., Нехорошев Д.Д., Меликов А.В. Энергетическая установка для сушки зерна за счёт средств солнечной энергии. //Международный научно-исследовательский журнал №08(62), часть 3. - С. 34-41.
15. Хазимов К.М., Хазимов М.Ж., Курпенов Б.Н. Тепловой баланс в вертикальной гелиосушилке при сушке плодов и овощей //Известия Национальной академии наук Республики Казахстан 2015. -№27.- С. 30-34.
16. Купреенко А.И., Комогорцев В.Ф, Исаев Х.М., Исаев С.Х. Тепловой баланс комбинированного теплообменника сушилки аэродинамического подогрева //Агроинженерия, 2020. - №6 (100). – С. 66-73.
17. Шешунова Е.В., Зиновьев К.А. Математическое моделирование работы теплового насоса //Вестник АПК Верхневолжья.-2017. -№1(37). - С.73-78.
18. Исаев Х.М., Купреенко А.И., Исаев С.Х. Плодово-ягодная сушилка с комбинированным теплообменником//Сельский механизатор. 2020. №1. - С. 16-17.
19. Купреенко А.И., Байдаков Е.М., Исаев Х.М. Конструкция зернохранилища со встроенной гелиосушильной системой / Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: Сборник научных работ. - Брянск: Изд-во БГСХА, 2010. - С.3-8.
20. Купреенко А.И., Байдаков Е.М., Исаев Х.М. и др. Зерносушильный комплекс на основе альтернативного источника энергии / Труды ГОСНИТИ. 2015. Т.120. - С.49-53.

*Представлено Каршинским
инженерно-экономическим институтом*

УДК 620.9:621.3

**ПОКАЗАТЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ EROEI
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ****О.Р. Сытдыков, А.М. Мирзабаев, Р.А. Ситдинов, О.В. Радионова**

Maqolada energetik rentabliligi – EROEI indikatorini tahlil qilish, shuningdek, O'zbekistonda ularning rivojlanishi bilan bog'liq bo'lgan fotoelektr stantsiyalari (FES) uchun baho berilgan. EROEI indeksini aniq hisoblash qiyinligi qayd etilgan, chunki qayta tiklanadigan energiya manbalari (QTEM) va FESlarning ko'plab tarkibi va tarkibiy qismlari turli mamlakatlardan O'zbekistonga olib kelinadi, turli sifat va narxlarga ega. Bundan tashqari, EROEI indikatorini baholash uchun bilvosita energiya sarfini ham hisobga olish kerak, ya'ni. FESning faoliyatiga ta'sir ko'rsatadigan faoliyatlar uchun bilvosita xarajatlar, masalan, xodimlarni o'qitish xarajatlari, ijtimoiy ta'minot va boshqalar. Bunday xarajatlar, shuningdek, globallashuv jarayonlari tufayli FES va uning tarkibiy qismlarining energiya uskunolari bir mamlakatlarda transnatsional kompaniyalari tomonidan to'liq yoki qisman ishlab chiqarilgandan keyin, eksport qilinadigan aniq hisobga olish qiyin. Shuning uchun, hisob-kitoblar va turli mamlakatlarda FESlarning EROEI-larini baholash natijalari juda farq qiladi, chunki hisob-kitoblar turli xil energiya sarf-xarajatlaridan foydalangan holda turli usullar bo'yicha hisoblangan.

EROEI ko'rsatkichining baholari tahlili shuni ko'rsatadiki, FES EROEI qiymatlari ham mamlakatlar bo'yicha, ham ishlab chiqaruvchilar tomonidan katta farq qiladi. Shuning uchun quyosh energiyasini prognozlash va rivojlantirish masalalarini hal qilishda bashorat oraliqlarini toraytirish va FES EROEIYINING real qiymatlarini olish uchun uni takomillashtirish zarur. EROEIning noaniq ko'rsatkichlariga qaramasdan, FESni rivojlantirish va joriy etish ko'plab mamlakatlarda, shu jumladan O'zbekistonda ham amalga oshirilmoqda. Noaniq EROEI ko'rsatkichlariga qaramasdan FESni ishlab chiqish va amalga oshirish ko'pgina mamlakatlarda, shu jumladan O'zbekistonda ham amalga oshiriladi. Ushbu oshirilish boshqa energiya manbalarining yuqori EROEI ko'rsatkichlari bilan bog'liq: QTEM EROEIlarining past ko'rsatkichi an'anaviy energiya manbalarining yuqori EROEI qiymatlari bilan qoplanadi: issiqlik, gidravlik, atom. Turli xil FES texnologiya va texnologiyalarining rivojlantirishi bilan, ularning EROEI ko'rsatkichlari o'sadi. Yuqori darajada bo'lgan quyosh insolyatsiyasi mamlakatlarida FES orqali yashil energiya asosiy manbai bo'lishiga ega; O'zbekiston Respublikasida ham FESlar asosiy yashil manbalar bo'lib xizmat qiladi. Maqolada O'zbekiston sharoiti

uchun FESning EROEI ko'rsatkichini baholash va hisoblash metodikasi bo'yicha tavsiyalar keltirilgan.

В статье приводится анализ показателя энергетической рентабельности – EROEI, а также его оценка для фотоэлектрических станций (ФЭС), связанная с их развитием в Узбекистане. Констатируется сложность точного расчета показателя EROEI, так как многие составляющие и компоненты возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и ФЭС импортируются в Узбекистан из разных стран, имеют разное качество и цены. Кроме этого, для оценки показателя EROEI, необходим учет энергозатрат на косвенные, т.е. не прямые затраты на мероприятия, влияющие на функционирование ФЭС, такие как затраты на обучение персонала, социальное обеспечение и многое другое, сопутствующее внедрению ФЭС. Такие затраты трудно поддаются точному учету также из-за процессов глобализации, когда энергетическое оборудование ФЭС и его компоненты полностью или частично выпускаются транснациональными компаниями в одних странах, а затем экспортируются в другие. Поэтому, результаты расчетов и оценок показателя EROEI ФЭС в разных странах, достаточно сильно отличаются, так как расчеты проводятся по разным методикам с использованием различных данных об энергозатратах. Анализ оценок показателя EROEI показывает, что величины EROEI ФЭС очень сильно разнятся как по странам, так и производителям. Поэтому необходимо его уточнение для сужения диапазонов оценок и получения реальных величин EROEI ФЭС при решении задач прогнозирования и развития солнечной энергетики. Несмотря на разноречивые показатели EROEI, развитие и внедрение ФЭС осуществляется во многих странах, в том числе и Узбекистане. Это происходит также за счет высоких показателей EROEI других источников энергии: углеводородных, гидравлических, атомных, когда низкий показатель EROEI ВИЭ компенсируется высокими значениями EROEI традиционных источников энергии. В работе делается вывод, что с развитием техники и технологий различных видов ФЭС, их показатели EROEI будут расти. Это дает основание считать, что ФЭС будут основным источником зеленой энергии в странах с высокой степенью солнечной инсоляции, к которым относится и Республика Узбекистан. В работе даются рекомендации по методике оценки и расчета показателя EROEI ФЭС для условий Узбекистана.

The article provides an analysis of the energy profitability indicator-EROEI, as well as its assessment for photovoltaic plants (PES) related to their development in Uzbekistan. It is stated that it is difficult to accurately calculate the EROEI indicator, since many components and components of renewable energy sources (RES) and PES are imported to Uzbekistan from different coun-

tries, have different quality and prices. In addition, to estimate the EROEI indicator, it is necessary to take into account energy costs for indirect, i.e. indirect costs of activities that affect the functioning of the PES, such as the costs of personnel training, social security and much more associated with the operation of the PES. Such costs are also difficult to accurately account for due to the processes of globalization, when the power equipment of the PES and its components are fully or partially produced by transnational companies in some countries, and then exported to others. Therefore, the results of calculations and estimates of the PES EROEI indicator in different countries are quite different, since the calculations are carried out using different methods using different data on energy consumption. The analysis of the estimates of the EROEI indicator shows that the values of the EROEI of the PES vary greatly both by countries and by producers. Therefore, it is necessary to refine it in order to narrow the ranges of estimates and obtain real values of the EROEI of the FES when solving problems of forecasting and development of solar energy. Despite the vague EROEI indicators, the development and implementation of PES is carried out in many countries, including Uzbekistan. This is also due to the high EROEI values of other energy sources: coal-fired, hydraulic, nuclear, when the low EROEI of RES is compensated by high EROEI values of traditional energy sources. The paper concludes that with the development of equipment and technologies of various types of FES, their EROEI indicators will grow. This gives reason to believe that the FES will be the main source of green energy in countries with a high degree of solar insolation, which includes the Republic of Uzbekistan. The paper provides recommendations on the methodology for assessing and calculating the EROEI indicator of the PES for the conditions of Uzbekistan.

Введение. Дефицит ископаемых видов топлива и их воздействие на окружающую среду в виде выбросов парниковых газов (ПГ) и теплового загрязнения, побудили государства всего мира развивать исследования и способствовать использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), особенно таких, как биомасса, ветер и солнце. Эти усилия представляют собой потенциальные решения проблемы нехватки ископаемого топлива и сокращения выбросов парниковых газов, однако возникают вопросы относительно степени их энергоэффективности. Поэтому полезно оценить прирост энергии от ВИЭ, что означает оценку и сравнение количеств энергии, потребляемой для производства установок возобновляемых видов энергии и вырабатываемой ими. Основной целью данной статьи является анализ, касающийся показателей возврата энергии на вложенную энергию (EROEI, с англ. - energy returned on energy invested), с учетом свойств ВИЭ биомассы, ветровой и солнечной энергии. Это необходимо для выработки стратегии развития солнечной энергетики в Узбе-

кистане и других странах, чтобы уточнить видение путей эффективной реализации перехода от использования ископаемого топлива к ВИЭ при производстве электроэнергии [1-3].

Хотя возобновляемые источники энергии в настоящее время покрывают небольшой процент глобального спроса на первичную энергию, их важность возрастает в большинстве стран из-за неоспоримых экологических и социальных выгод. В связи с этим в настоящее время солнечную энергетику, наряду с другими возобновляемыми источниками, стремятся развивать во многих странах мира, в том числе и Республике Узбекистан [4-8], считая ее альтернативой традиционной энергетике и энергоносителям. Опыт многих стран, в том числе Германии показывает, что страна, являясь далеко не солнечной, стала мировым лидером в сфере солнечной энергетики. Разработками в области использования энергии солнца серьезно занимаются в Индии, Китае, США, Испании, африканских и многих других странах с высокой степенью солнечной инсоляции. Согласно оптимистичному прогнозу International Energy Agency (Международное энергетическое агентство - МЭА), солнечные электростанции к 2050 году смогут производить до 20-25% электроэнергии в мире [2,3].

Однако альтернативный взгляд на перспективы солнечных электростанций базируется на том, что затраты энергии, которые требуются для изготовления солнечных батарей и аккумуляторных систем, превышают приток энергии, производимой солнечными электростанциями за весь период эксплуатации, и поэтому ФЭС энергетически не окупают себя. Противники такой позиции (сторонники ФЭС) уверяют, что современные солнечные батареи способны работать без новых капиталовложений десятки и более лет, а производимая ими энергия намного перекрывает затраты на создание ФЭС, и в долгосрочной перспективе электроэнергия, полученная с использованием энергии солнца, станет очень рентабельной.

Проблема определения и сравнения эффективности ФЭС. Для сравнения эффективности энергоресурсов, в том числе ФЭС, существует много критериев [7-11], среди которых можно выделить экологический, экономический, эксплуатационно-потребительский, производственно-технологический и другие. Производственно-технологический критерий включает в себя ряд критериев: показатель EROEI, КПД, мощность, коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), постоянство и простота добычи (производства) энергоресурса и др.

Рассмотрим некоторые сведения о ФЭС мощностью 50 – 100 кВт, их видах, структурах и используемом оборудовании. На рис.1 представлена структурная схема использования подобной ФЭС для электроснабжения коттеджа.

Напомним, что структура обычных ФЭС включает в себя: солнечные модули (батареи, панели), контроллер, аккумуляторную батарею, ин-

вертор. Используемые в настоящее время основные виды солнечных батарей, представлены на рис.2.



Рис.1. Структурная схема автономной ФЭС

Выбор панелей (модулей) заключается в определении их суммарной мощности, которая определяется из среднесуточного потребления электроэнергии, а по величине мощности, а также некоторых других требований и условий определяются [9,12]: тип панелей (монокристаллические, поликристаллические и др.), их количество, а также параметры и виды другого оборудования: контроллеры, аккумуляторные батареи (АБ), инверторы и др.

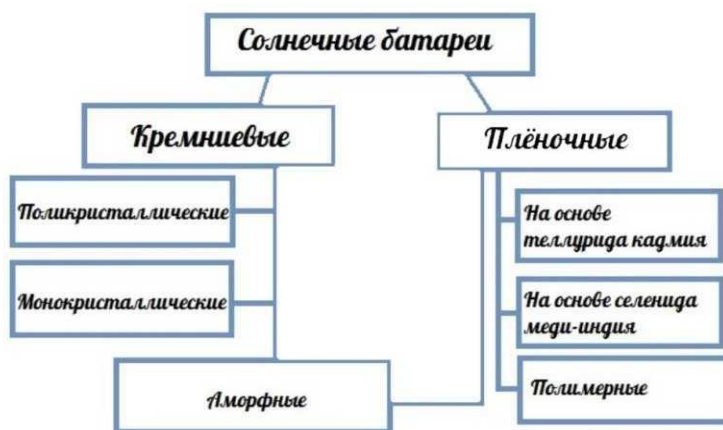


Рис.2. Основные виды используемых солнечных батарей

Контроллеры. Через них проходит выработанная панелями энергия и подается на аккумуляторы. Сейчас производятся два типа контроллеров — широтно-импульсной модуляции (ШИМ-контроллер или PWM-контроллер) и слежения за точкой максимальной мощности (MPPT-контроллер). ШИМ-контроллеры более простые и доступные. Однако при их применении не используется до 30 % выработанной панелями

энергии. МРРТ - контроллер способен пропускать до 100% выработанной энергии, но и стоимость его значительно выше.

Что касается мощностных показателей, то контроллер также подбирается по мощности, которую он способен обработать.

Аккумуляторная батарея (АБ). Что касается аккумуляторов, то самыми доступными среди множества типов, сейчас являются кислотные. Основным параметром при подборе является емкость: чем она больше у АБ, тем лучше. Имеются формулы расчета емкости АБ, по которым определяется, какой она должна быть, чтобы запитать все необходимые электроприборы [13].

Если данная система ФЭС не будет использоваться автономно, и без накопления энергии, то установка АБ не нужна. В такой системе выработанная энергия поступает сразу на инвертор, и далее - потребителям.

Инвертор. Инверторы выпускаются трех типов – автономные, сетевые и комбинированные (гибридные). Автономные инверторы используются при полном переходе на использование солнечной энергии, когда производится накопление энергии в АБ и одновременный ее расход. Сетевой инвертор используется в системах, в которых не производится накопление энергии. Поступающую на него электроэнергию от панелей он сразу преобразовывает и запитывает потребителей. Гибридные инверторы могут работать и как автономные, и как сетевые, причем с выбором приоритета источника энергии.

Основным параметром инвертора при выборе является его мощность. Для правильного её определения подсчитывается мощность всех электроприборов, которые могут быть включены одновременно и добавляется еще 20%. Это позволяет предотвратить работу инвертора на предельных нагрузках.

К параметрам, обычно учитываемым при выборе ФЭС, относятся:

- стоимость;
- КПД и срок службы;
- температурный коэффициент;
- потеря эффективности (деградация) панелей;
- размеры и площадь установки;
- светочувствительность;
- годовая выработка электроэнергии.

Эти параметры используются для целей проектирования, разработки, производства и эксплуатации ФЭС. Существует также несколько критериев и признаков, которые также важны для оценки солнечных панелей: гарантии на солнечные панели, эффективность и мощность, эстетика солнечных панелей. Сравнение по этим параметрам, критериям и признакам определяет наилучшие солнечные панели для конкретных условий.

Каждый потребитель по своему уникален и требует экспертной оценки при выборе используемой ФЭС, поэтому выпускаемые солнечные панели с высоким рейтингом, такие как «First Solar», «Jinco Solar», «Trina Solar», «Canadian Solar», «Sun Power», являются отличными вариантами премиум класса, но они стоят намного дороже, чем другие панели. В [12] сравнили показатели немецких и китайских панелей именитых производителей. Целью такого сравнения явилась оценка целесообразности использования более дорогих (на 30%) солнечных панелей европейского производителя, и выявление основных преимуществ и недостатков солнечных батарей, как китайского, так и немецкого производства. Воспользуемся материалами тестирования и результатами сравнения для определения степени их объективности в качестве показателей эффективности разных ФЭС.

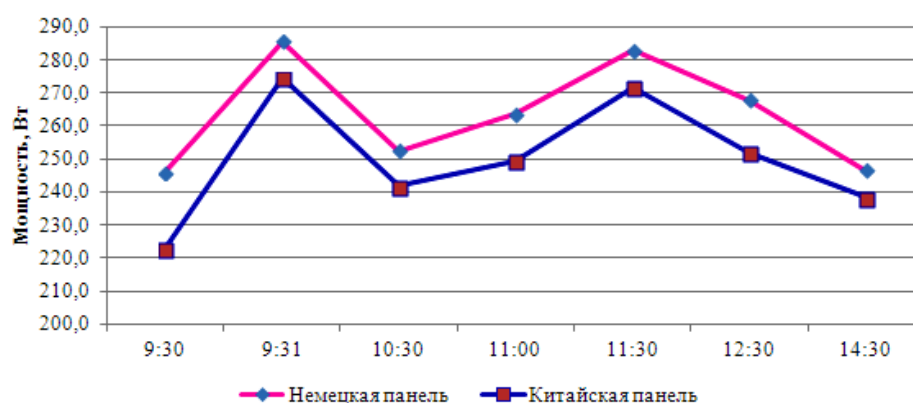


Рис.3. Кривые мощности сравниваемых панелей (солнечная погода) [12]

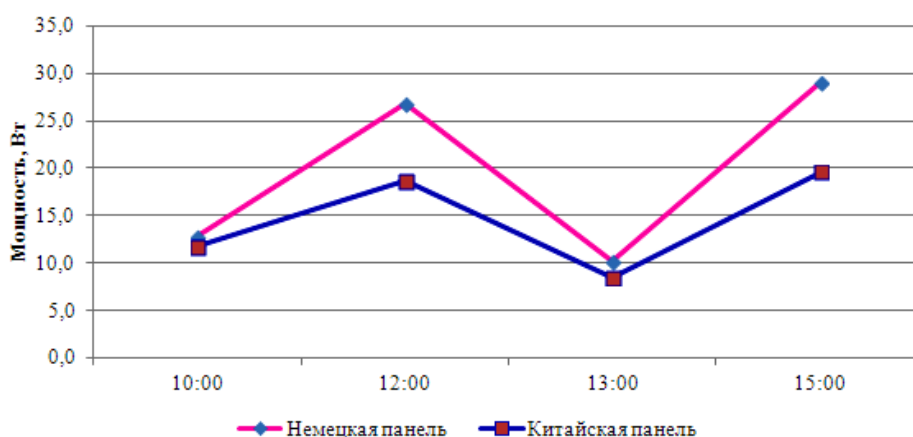


Рис.4. Кривые мощности сравниваемых панелей (пасмурная погода) [12]

Тестирование панелей проводилось при одинаковых условиях, были получены графики генерируемой ими мощности при солнечной (рис.3) и пасмурной погоде (рис.4).

Из графиков видно, что при солнечной погоде китайская солнечная панель уступает немецкой примерно 5%, а при облачности, когда свет рассеянный, производительность немецкой выше минимум на 30%. Это обстоятельство отображено на графике, приведённом на (рис.5).

На основании проведенных измерений можно сделать вывод, что среднегодовая производительность немецкой панели будет на 25 - 30% выше, чем китайской. Учитывая более высокую производительность и признанное качество изготовления немецкой солнечной батареи, нами предлагается вносить соответствующие поправочные коэффициенты при прогнозах выработки энергии разными панелями и определении показателя EROEI.

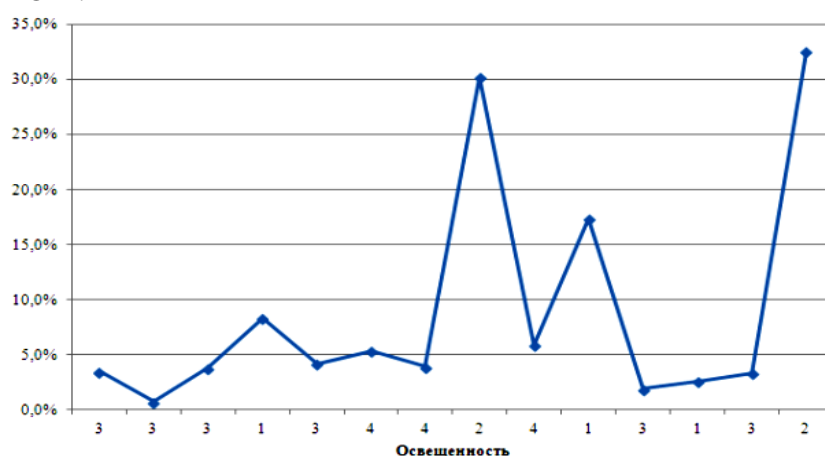


Рис.5. Производительность немецких солнечных батарей по отношению к китайским в зависимости от освещённости [12]:

1 — пасмурно, 2 — облачно, 3 — солнечно, 4 — яркое солнце

Мировой опыт использования критерия EROEI. Критерий EROEI или энергетическая рентабельность, является универсальным и объективным показателем эффективности метода получения энергии, который определяет соотношение полученной энергии к затраченной, т.е. энергетическую рентабельность. EROEI показывает, сколько энергии вернётся в расчёте на вложенную энергию. Это безразмерный показатель, который не зависит от каких-либо экономических показателей, таких как цены, курсы валют, производительность труда и так далее. Он позволяет оценивать энергетическую эффективность того или иного способа получения энергии [8,14-20].

Общая мощность ВИЭ в составе энергосистем большинства развитых стран в среднем, как правило, не превышает 5 – 10 %. Поэтому низкий показатель EROEI, присущий таким ВИЭ, как биомасса, ветер, солнце, суммарно выравнивается за счет высоких EROEI традиционных источников энергии. Однако в дальнейшей перспективе, при расширении

использования различных типов ВИЭ и уменьшении использования обычных углеводородных источников, необходимо обязательно учитывать показатели EROEI всех видов ВИЭ.

Таким образом, физически показатель EROEI в энергетике – отношение количества пригодной к использованию (полезной) энергии, полученной от определённого источника энергии (энергоресурса), к количеству энергии, затраченной на получение этого энергетического ресурса. Поэтому показатель EROEI важен при сравнении энергетических альтернатив [8,11,15-20].

В общем виде безразмерный показатель EROEI выражается и определяется простой, объективной формулой [8,11,15]:

$$\text{EROEI} = E_{\text{пол}} / E_{\text{расх}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{пол}}$ – полученная энергия; $E_{\text{расх}}$ – израсходованная энергия.

Формулу (1) часто разворачивают, представив знаменатель $E_{\text{расх}}$ в виде отдельных компонент:

$$\text{EROEI} = E_{\text{пол}} / (E_{\text{созд}} + E_{\text{эксп}} + E_{\text{утил}}), \quad (2)$$

где $E_{\text{созд}}$ – энергозатраты на создание источника энергии (станции) или добычу энергоносителя, транспортные энергорасходы и др. на строительство и монтаж установки;

$E_{\text{эксп}}$ – энергозатраты, связанные с эксплуатацией объекта;

$E_{\text{утил}}$ – энергозатраты, связанные с ликвидацией объекта и утилизацией оборудования.

Из формул (1) и (2) очевидно, что возможны три случая:

1. $\text{EROEI} = 1$ – на единицу полученной энергии пришлось затратить количество энергии, равное полученной. Производство энергии состоялось с нулевым результатом и является неприемлемым.

2. $\text{EROEI} < 1$ – производство (добыча) энергоресурса энергетически убыточно.

3. $\text{EROEI} > 1$ – добыча (производство) энергоресурса энергетически прибыльна.

Также из формул следует, что:

- EROEI не зависит от финансово-экономической деятельности предприятия;

- EROEI зависит от энергетической способности энергоресурса;

- EROEI зависит от технологии добычи энергоресурса;

- в случае, если энергоресурс не имеет каких-либо форм накопления (аккумуляции, буферизации), то EROEI зависит от остальных элементов цепочки технологии производства энергии.

Независимость от финансово-экономической деятельности является важнейшим свойством: показатель EROEI и экономические показатели не дублируют друг друга, а только могут взаимно дополнять. Будет правильно утверждать, что между EROEI и экономическими результатами

существует корреляция, причем за EROEI остается ведущая роль, так как улучшение EROEI приводит к улучшению экономических показателей, но не всякое улучшение экономических показателей ведет к улучшению EROEI [8,14-18].

Очевидно, что для сравнения показателей различных энергоресурсов необходимо производить расчеты EROEI по единой методике, так как анализ данных мирового опыта показывает, что разброс показателей одинаковых источников происходит, в том числе, из-за использования разных методик расчетов. Из множества методик выделяются два основных подхода к расчету показателя EROEI:

1. Методика расчета на основе фактических данных выработки и потребления энергии или энергоносителя, выраженных в натуральных единицах (тонны топлива, кВт·ч энергии).

2. Методика на основе экономико-энергетического пересчета. Имея расчет показателя EROEI на основе фактических данных для отдельного источника, а также зная объем капиталовложений для этого источника, рассчитывается удельная энергоемкость капиталовложений (energy intensities). Далее, используя полученные результаты, можно рассчитать EROEI для других аналогичных источников, а также для всей сферы в целом.

Показатель EROEI достаточно широко используется в мировой практике, хотя упоминается не так часто по сравнению с другими показателями (КПД, КИУМ - коэффициент использования установленной мощности, удельная себестоимость выработанной энергии и др.). Например, в Узбекистане только в последнее время появились публикации [8,21], в которых рассматривается EROEI.

Однако этот важнейший показатель определяет энергетическую эффективность того или иного способа получения энергии или энергоресурса для оправдания или игнорирования определенного способа получения энергии. При этом его EROEI должен быть, как показали выражения (1), (2), больше 1, так как в противном случае затраты энергии или энергоносителя на её получение, будут больше полученного количества энергии, а это приведёт к коллапсу энергообеспечения.

На практике величина показателя EROEI различных источников и ресурсов колеблется от 0 до 200 и более [8,14-17,20,22], а EROEI существующих фотоэлектрических станций в мире в настоящее время составляет по разным оценкам от 1,5 до 34. По ним видно, что величина показателя имеет очень большой разброс и меняется в зависимости от многих факторов: методики оценки, географических условий, используемых видов оборудования и материалов, импорта оборудования, технологий, конструкций, срока эксплуатации, квалификации персонала и т.д. Например, чтобы добыть нефть (существующее EROEI нефти 10-25), необходимо затратить энергию на её извлечение, а чтобы получить энергию от распада

ядра урана, нужно потратить энергию на добычу и обогащение урана (EROEI: 15-50).

Существует много различных вариантов расчета показателя EROEI, основанные на указанных выше двух подходах, из-за которых показатель получается различным, поэтому EROEI часто критикуют и не используют. Однако, в отличие от цены за кВт·ч, КПД, занимаемой площади и иных показателей, EROEI ясно и убедительно отражает действительность, и объясняет энергозатраты, происходящие при процессах генерации, распределении и потреблении энергии [8,14-22], поэтому и важна точность определения EROEI.

Проблемная ситуация, наблюдаемая с определением показателя EROEI по солнечной энергии, связана также с тем, что трудно точно определить исходные данные изменчивой инсоляции, оценить действительный срок службы компонентов системы и др. Поэтому самые оптимистичные оценки показателя EROEI ФЭС редко выше величины 10. В неблагоприятных условиях EROEI солнечной установки может быть даже меньше единицы, так как по сравнению с многими альтернативными источниками, эффективность солнечных электроустановок сильно зависит от географической широты и времени года. Это объясняет, почему солнечных электростанций в мире меньше ветровых, при видимой привлекательности этого способа получения энергии.

Предполагается, что величина показателя $EROEI > 6-8$ необходима для функционирования и развития современного индустриального общества [8,11,15-17]. Это ограничение, ниже которого нельзя опускаться, в том числе потому, что широкое распространение, например, возобновляемых источников энергии с малым показателем EROEI может вызвать энергетический голод [8,10-16,18-22].

Одна из целей данной статьи – найти типовые пути уменьшения разброса оценок для увеличения точности определения показателя EROEI ФЭС при использовании оборудования различных производителей.

Особенности определения EROEI ФЭС в Узбекистане. Рассмотрим аспекты оценки EROEI для фотоэлектрических станций, работающих в условиях Узбекистана. Сложность расчета классическими методами усугубляется тем, что многие компоненты ФЭС, в том числе фотопанели и другое оборудование в Узбекистане не производятся, а импортируются из разных стран по различным ценам. Поэтому точные затраты энергии на строительство солнечных станций в Узбекистане остаются неопределёнными. То же самое происходит с прогнозом выработки электроэнергии ФЭС. Приходится использовать различные эквиваленты и коэффициенты, которые связывают импортные цены, расходы энергии, стоимость материалов, транспортные и другие затраты.

Для получения объективных оценок EROEI ФЭС в Узбекистане, нами предлагается использовать модификацию формулы (2), включив в неё соответствующие поправочные коэффициенты:

$$EROEI = K_1 \cdot E_{\text{пол}} / (K_2 \cdot E_{\text{созд}} + E_{\text{эксп}} + E_{\text{утил}}), \quad (3)$$

где K_1 , K_2 – поправочные коэффициенты, соответственно учитывающие возможные изменения выработки энергии $E_{\text{пол}}$ и её затрат на создание источников при использовании импортного оборудования для выработки $E_{\text{созд}}$.

Коэффициенты K_1 и K_2 могут иметь величину большую или меньшую, чем 1; если значения величин K_1 и/или $K_2 = 1$, то это означает, что нет необходимости в поправочных коэффициентах для данной ФЭС. Между величинами K_1 и K_2 может существовать или отсутствовать корреляционная зависимость.

Рассмотрим некоторые особенности определения поправочных коэффициентов и их эквивалентов, связанных с покупкой готовых солнечных панелей разных производителей из Германии, России, Китая, Южной Кореи, Японии и других стран. Цены на панели и транспортные расходы достаточно разнятся, необходимо учитывать также динамику рыночных отношений. На практике, для закупок партий оборудования, необходимо проведение тендеров, определяющих рыночные цены на панели и другие виды комплектующего оборудования: контроллеры, аккумуляторные батареи, инверторы и др.

Для определения поправочных коэффициентов эквивалентных энергозатрат импортируемого оборудования ФЭС воспользуемся результатами сравнений, отраженных на графиках (рис. 3,4 и 5). Из них становится очевидным, что при прогнозах необходимо корректировать производительность оборудования на 25-30 % выше или ниже обычного, т.е. необходимо увеличивать или уменьшать коэффициенты K_1 и K_2 , в зависимости от производителя. За базис приняты характеристики солнечных панелей и оборудования одного из ведущих китайских производителей, т.е. $K_1 = 1$ и $K_2 = 1$, а определение поправочных коэффициентов установок других производителей проводилось на основе сравнения их свойств с этими панелями методом экспертных оценок.

Определение показателя EROEI солнечных электростанций с введением поправочных коэффициентов при импорте оборудования и комплектующих из разных стран, позволяет констатировать, что сейчас EROEI ФЭС для условий Узбекистана составляют разные величины в зависимости от производителя, типа панелей и других факторов: используемых материалов, мест установки, сроков деградации, оснащённости автоматикой, затрат на обслуживание и т.д. При расчетах по формуле (3) значения коэффициентов K_1 и K_2 варьировались от 0,7 до 1,35. Например, поликристаллические панели разных производителей для конкретных

условий имеют EROEI от 6 до 12, монокристаллические от 9 до 18, аморфные - от 3 до 7, в зависимости от обозначенных факторов.

Полученные оценки показывают, что для Узбекистана уже сейчас энергетически выгодно строить и внедрять ФЭС, т.е. развивать фотовольтаику, используя импортное оборудование. В перспективе, применение новых технологий (перовскиты, наноматериалы и др.) и дальнейшее снижение цен на оборудование позволит ещё более повысить величину показателя EROEI ФЭС в Узбекистане.

Заключение

1. Мировая проблема исчерпаемости углеводородных энергоресурсов, прежде всего нефти и газа, необходимость стабилизации климата и защиты окружающей среды ставят задачи поиска и использования альтернативных источников энергии. Это приводит к необходимости объективного сравнения эффективности различных энергоресурсов и способов получения энергии, и показатель EROEI является наиболее универсальным из всех критериев и показателей.

2. Существуют два основных подхода к методике расчета EROEI: первый - на основе учета прямых и косвенных энерго- и материалозатрат, второй - на основе экономико-энергетического пересчета показателей стоимости оборудования, особенно импортируемого. Необходимо использовать единую методику расчета и оценки энергетической рентабельности использования источника энергии или установки. При использовании импортного оборудования, необходимо отдавать предпочтение установкам с более высоким показателем EROEI.

3. Для точного определения энергетической ценности солнечной установки необходимо при расчете EROEI использовать полные данные о затратах энергии, учитывая все расходы по мере перемещения по элементам цепочки, т.е. от производителя оборудования до пользователя установки. При планировании использования оборудования от разных производителей необходимо корректировать соответствующие поправочные коэффициенты.

4. В Узбекистане, для определения и сравнения эффективности фотоэлектрических станций в условиях импорта оборудования и комплектующих, следует разработать и утвердить единую методику расчета показателей EROEI ФЭС.

Литература

1. REN 21: Renewables 2020. Global status report: <https://www.ren21.net/>.

2. Vianna M.S., Junior G.M., Udaeta M.E.M. Analyses of demand response and photovoltaic distributed generation as resources for power utility planning//Applied Energy, 2018, vol 217, pp. 456-466.

3. Hirsch A., Parag Y., Gueretto J. Microgrids: a review of technologies, key drivers and outstanding issues //Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018,vol. 90, pp 402-411.
4. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии». 21 мая 2019 г. № ЗРУ-539.
5. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы. Источник: официальный сайт Минэнерго Узбекистана: <https://minenergy.uz/ru/lists/view/77>.
6. Постановление Президента РУз «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», 22 августа 2019 г. №ПП -4422.
7. Постановление Кабинета Министров РУз «О мерах по развитию возобновляемых источников энергии и привлечению частных инвестиций для создания фотоэлектрических станций». 08.08.2018 г. № 633.
8. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития. /Под общей редакцией академика АН РУз Салимова А.У. –Т.:Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. 2021. -952 с.
9. [Электронный ресурс]: <https://dnp-zem.ru/obzory/razlichie-solnechnyh-batarej-sravnenie-raznyh-tipov-solnechnyh-panelej.html>.
10. Темукуев Т.Б. О методе расчета EROEI с учетом коэффициента полезного использования энергии. //Экономика и управление: тр. XXVI Российской школы. Т.2. Наука и технологии. 2014. -С. 425-432.
11. Голоскоков А.Н. Критерии сравнения эффективности традиционных и альтернативных энергоресурсов // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2011. № 1. С. 285 - 299. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Goloskokov/Goloskokov_5.pdf.
12. [Электронный ресурс]: <https://ElektrikExpert.ru/vybrat-solnechnuyu-batareyu.html>.
13. Ситдилов Р.А., Радионова О.В. Учебное пособие по курсу «Новые технологии производства и распределения электрической энергии». –Ташкент: ТашГТУ, 2019. -94 стр.
14. Zhou Zikai and Michael Carbajales-Dale. Assessing the photovoltaic technology landscape: efficiency and energy return on investment (EROI). Energy Environmental Science 11: 2018. p.603.
15. Murphy, David J., and Charles A. S. Hall. Year in review—EROI or energy return on (energy) invested. Annals of New York Academy of Sciences, 2010. vol 1185: pp 10–18.
16. Hall Ch. Why EROI matters //The Oil Drum. URL: <http://www.theoil Drum.com/node/3786>.
17. Сафронов А.Ф., Голоскоков А.Н. EROEI как показатель эффективности добычи и производства энергоресурсов // Бурение и

нефть. 2010. № 12. -С. 48-51. URL: <http://burneft.ru/archive/issues/2010-12/13>.

18. Charles A.S. Hall, Jessica G. Lambert, Stephen B. Balogh: EROI of different fuels and the implications for society: Energy Policy, 2015, vol 201, pp. 141–152.

19. Rauei Marco, Sgouris Sgouridis, David Murphy, Vasilis Fthenakis, Rolf Frischknecht, Christian Breyer, and Ugo Bardi. Energy Return on Energy Invested (EROEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: A comprehensive response. Energy Policy 102: 2017. pp.77–84.

20. Hall Charles A. S., Jessica G. Lambert and Stephen B. Balogh. EROI of different fuels and the implications for society. Energy Policy, 2014. vol 64, pp.141–52.

21. Сытдыков О.Р. О показателе эффективности генерации электроэнергии на фотоэлектрических станциях в условиях Узбекистана. /Материалы Республиканской конференции «Физика фанининг техника соҳасидаги тутган ўрни», - Нукус:ККГУ. 28 мая 2021. –С.182-186.

22. Ferruccio Ferroni and Robert J. Hopkirk Energy Return on Energy Invested (EROEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: Energy Policy, 2016, vol 94, pp. 336–344.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом и ООО «MIR SOLAR», Узбекистан*

УДК 621.311.721

**КОНТАКТСИЗ КОММУТАЦИЯЛОВЧИ ҚУРИЛМАЛАР АСОСИДА
КОНДЕНСАТОР БАТАРЕЯЛАР ҚУВВАТИНИ РОСТЛАШ
СХЕМАСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ****Р.Ч. Каримов**

Ушбу мақолада электр таъминоти тизимида реактив қувватни ростлашда контактсиз қурилмаларни қўллашга доир адабиёт манбалари ва интернет материаллари таҳлилининг натижалари келтирилган бўлиб, бошқарув параметрлари сифатида - кучланиш, юклама токи, реактив қувват йўналишлари, қувват коэффициенти, манба кучланиши ва юклама токи орасидаги ўзгариш бурчаги ҳамда кун давомида юклама ўзгаришидан вақт бўйича ишлатиш мумкинлиги баён этилган. Бундан ташқари, мақолада контактсиз қурилмаларнинг ишлаб чиқилган схемаларининг ишлаш принципи ва улар ёрдамида автоматик ростлашнинг экспериментал тадқиқотларига оид материаллар келтирилган. Ишлаб чиқариш ва халқ хўжалиги соҳаларида иш самарадорлигини ошириш ва технологик жараёнларни автоматлаштириш зарурияти куч ярим ўтказгичли ўзгартиргичлар, ёйли печлар, пайвандлаш ускуналари ва бошқа электр энергияси истеъмолчиларини кенг ишлатилиши, реактив қувватни автоматик равишда контактсиз бошқаришга боғлиқ эканлиги аниқланган. Конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш учун тиристорли контактсиз кучланиш релесининг экспериментал тадқиқотлари асосида, у бундай қурилмаларга қўйиладиган талабларга тўлиқ жавоб беришини ва тегишли қувват коэффициенти билан электр таъминоти тармогининг ишончли ишлашини таъминлай олиши аниқланган.

В данной статье представлены результаты анализа литературных источников и интернет-материалов по использованию бесконтактных устройств регулирования реактивной мощности в системах электроснабжения, в которых управляющими параметрами являются напряжение, ток нагрузки, направление реактивной мощности, коэффициент мощности, угол сдвига между напряжением источника и током нагрузки, а также изменение нагрузки по времени суток. Кроме того, в статье представлены материалы, касающиеся разработанных схем бесконтактных устройств и экспериментальных исследований автоматических регуляторов. Установлено, что повышение эффективности работы мощных полупроводниковых преобразователей, дуговых печей, видов сварочного оборудования и других потребителей

электроэнергии зависит от автоматического регулирования реактивной мощности. На основе экспериментальных исследований тиристорного бесконтактного реле напряжения системы автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей, выявлено, что оно полностью отвечает требованиям, предъявляемым к таким устройствам, и может обеспечить надежную работу электросети с соответствующим коэффициентом мощности.

This article provides information on the results of the analysis of literary sources and Internet materials on the use of contactless devices for regulating reactive power in a power supply system, in which the control parameters are voltage, load current, directions of reactive power, power factor, shift angle between source voltage and current. load, as well as the change in load by time of day. In addition, the article presents materials related to the principle of operation of the developed circuits of contactless devices and the experimental study of automatic regulators using them. It has been established that increasing the efficiency of work and automation of technological processes in production and the national economy, the widespread use of powerful semiconductor converters, arc furnaces, welding equipment and other electricity consumers depends on the automatic regulation of reactive power. On the basis of experimental studies of a thyristor contactless voltage relay for automatic power control of capacitor banks, it was found that it fully meets the requirements for such devices and can ensure reliable operation of the power grid with an appropriate power factor.

Ривожланган мамлакатларда саноатнинг турли хил соҳаларида ишлаб чиқаришнинг самарадорлигини ошириш ва техник воситаларни автоматлаштириш ҳамда ишлаб чиқаришда янги технологияларни жорий этишни тадқиқ қилиш масалалари етакчи ўрин эгалламоқда. Шу жиҳатдан тармоқда етишмаётган реактив қувватни, яъни истеъмол қилинаётган энергиянинг миқдори ва характериға боғлиқ ҳолда компенсацияловчи қурилмалар қувватини автоматик ростлаш долзарб вазифалардан бири ҳисобланади [1-3].

Реактив қувват ростлагичлари ва контактсиз коммутацияловчи қурилмаларни ишлаб чиқиш, такомиллаштириш ва эксплуатацион хоссаларини ошириш борасида тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлашда контактсиз коммутацияловчи қурилмаларни яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Шу билан бирга, нозичлиқли электр занжирларда динамик жараёнларни тадқиқ қилиш йўли билан реактив қувватни автоматик компенсацияловчи ускуналар бошқарув тизими учун контактсиз қурилмалар схемасини ишлаб чиқиш ва такомиллаштирилиши зарур ҳисобланади ҳамда бугунги куннинг долзарб вазифаларидан бири ҳисобланади [1-5].

Тегишли манбаларни танлаш, уларнинг қувватини ҳисоблаш ва тартибга солиш ҳамда манбаларни электр таъминоти тизимига жойлаштиришни ўз ичига олган ҳолда реактив қувватни қоплаш масаласи асосий масалалардан бири ҳисобланади. Сўнгги йилларда саноат электр таъминоти тизимида рўй бераётган, электр энергиясини миқдорий ва сифат ўзгаришлари масаласида алоҳида аҳамият бермоқда. Ҳозирда реактив қувват истеъмолининг ортиши актив қувват истеъмолининг ортишидан сезиларли даражада фарқ қилмоқда. Шу билан бирга, реактив қувватни ишлаб чиқариш нуқтасидан анча узоқ масофаларда жойлашган истеъмол нуқтасидаги жойларга юбориш, электр таъминоти тизимларининг техник-иқтисодий кўрсаткичларини сезиларли даражада ёмонлаштиради [4-7].

Юқорида келтирилган фикрлардан, оптимал вариантни танлаш йўли билан реактив қувватни компенсациялаш муаммосига тизимли ёндашувлар асосида техник-иқтисодий ҳисоблашлардан келиб чиқиш лозимдир. Ушбу мақолада реактив қувватни компенсациялаш вазифасини конденсатор батареяларининг бошқарув тизимида контактсиз қурилмаларни қўллаш орқали такомиллаштирилган схемани ишлаб чиқиш масаласини ечиш жараёнлари кўриб чиқилган.

Конденсатор батареяларининг индивидуал, гуруҳли ва марказлашган ҳолда ўрнатиш турлари мавжуд. *Индивидуал ўрнатиш*лар 660 Вольт-гача бўлган кучланишларда тез-тез ишлатилади. Бундай ҳолларда конденсатор батареялари қабул қилувчи терминалларга маҳкам бириктирилади. Ушбу турдаги компенсацияловчи қурилмаларни ўрнатиш қуйидаги камчиликларга эга – конденсатор батареялари ишидан кам фойдаланиш, чунки қабул қилувчи ускуна ўчирилганида компенсацияловчи қурилма ҳам ўчирилади [1-3, 8-10].

*Гуруҳли ўрнатиш*да конденсатор батареяларни тармоқнинг тақсирот нуқталарига уланади. Шу билан бирга конденсатор батареяларнинг ўрнатилган қувватидан фойдаланиш бирмунча ортади.

*Марказлаштирилган ўрнатиш*ларда конденсатор батареялари саноат корхонасининг трансформатор подстанциясининг юқори кучланишли томонига уланади.

Ускунани, ўлчов асбобларини ва бошқаларни узиш харажатларининг сезиларли даражада ортишига йўл қўймаслик мақсадида, қуввати 400 кВАр дан кам бўлган 6-10 кВ кучланишли конденсатор батареяларини алоҳида калит ёрдамида ва 100 кВАр дан кам қувватли трансформатор, асинхрон мотор ва бошқа истеъмолчиларни умумий калит ёрдамида ўрнатиш тавсия этилмайди [1-3, 11].

Конденсатор батареяларни ўчириш жараёнида, уларда сақланиб қолган заряд ҳар доим актив қаршилик (масалан, 6-10 кВ кучланишли конденсатор батареяларини кучланиш трансформаторига) ёрдамида автоматик равишда зарядсизланиши зарур. Қаршилик қиймати шундай

бўлиши керакки, конденсатор батареялари узилганида, уларнинг қисқичларида ортиқча кучланиш бўлмаслиги керак [1-3, 8-9].

Конденсатор батареяларининг тежамли ишлашини таъминлаш учун, юклама камайганида конденсатор батареяларининг қувватини автоматик бошқариш мақсадга мувофиқдир. Бошқариш жараёни бир босқичли ёки кўп босқичли бўлиши мумкин [1-3].

Конденсатор батареяларининг қувватини *бир босқичли бошқариш* жараёнида, юклама камайган вақтида барча конденсатор батареялари автоматик равишда ўчирилади.

Конденсатор батареяларининг қувватини *кўп босқичли бошқариш* жараёнида, алоҳида батареялар ёки бўлимлар автоматик равишда ёқилади ёки ўчирилади. Чунки, уларнинг ҳар бири алоҳида ўз калитлари билан жиҳозланган.

Конденсатор батареяларининг қувватини бошқарилиши қуйидаги омилларнинг бирига қараб тартибга солиниши мумкин: *конденсатор батареяларининг уланиш нуқтасидаги кучланиш; объектнинг юклама токи; корхонани ташқи тармоққа уловчи линиядаги реактив қувватнинг йўналиши; куннинг вақти*. Булардан ташқари, конденсатор батареялари қувватини автоматик равишда бошқариш учун, юқоридаги омилларни бир нечасини ишлатадиган микросхемалардан ҳам фойдаланиш мумкин.

Компенсацияловчи қурилмалар учун, реактив қувватни фақатгина бир поғонали ёки кўп поғонали бўлгандагина поғонали бошқаришда рухсат этилади. Бошқариш поғоналарининг сони ва қуввати, узиб-улаш кетма-кетликлари корхонанинг юклама графиги ҳамда энерготизимнинг топшириғига боғлиқ равишда аниқланади [1-3, 12].

Юқори қувватли контактсиз ярим ўтказгичли ускуналарни кенг тарқалиши, электр техниканинг бир қатор йўналишларида ярим ўтказгичлар техникасини қўлланиш доираси кенгайиб, уларнинг ютуқлари электр техник ускуналарнинг янги синфини ўзлаштиришга имкон берди [11-12].

6÷10 кВ ўзгарувчан кучланишли саноат объектларининг электр таъминоти тизимларида юқори кучланишли катта қувватли контактсиз ярим ўтказгичли ускуналарни яратиш катта аҳамиятга эга, чунки ушбу кучланиш кўп сонли маиший истеъмолчилар номинал кучланиши ҳисобланади. Кўрсатилган ускуналар, одатий электр механик ускуналар билан биргаликда, саноат объектларининг электр таъминотидаги кўп сонли муаммоларини ечишда ва ҳозирги электр таъминоти тизимларининг техник даражасини юқорига кўтаришга ёрдам беради [6-8, 12].

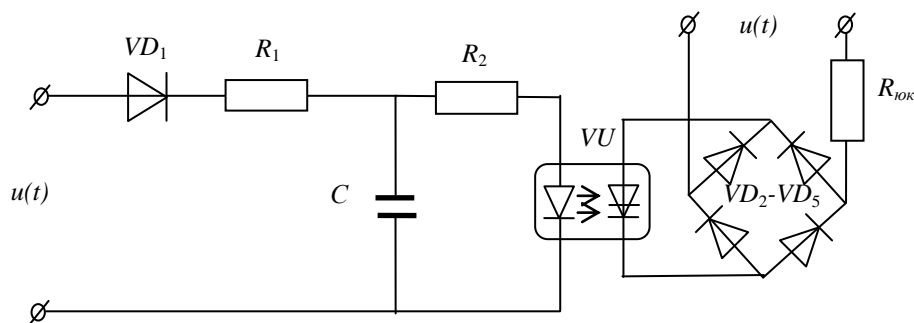
Шулар билан бир қаторда, юқори қувватли контактсиз ярим ўтказгичли ускуналар тез таъсир этувчи токни чегаралаш муаммосини ечишга, хусусан 6÷10 кВ кучланишли реакторсиз тармоқларда юзага келадиган авариявий зарбавий тоқларни чегаралаш, электр таъминоти тизими элементларига термик ва динамик таъсирни камайитириш, тез ўзгарувчан зарбавий юкламали электр ускуналарни уланиш схемасини

соддалаштириш, катта қувватли электр машиналарини ўз-ўзини ишга туширишини таъминлаш, тармоқ реактив элементларини бошқариш (реакторлар, конденсатор батареялари ва ҳ.к.), тақсимловчи тармоқларда электр энергия сифатини ошириш, ҳамда электр таъминоти тизимини қуришдаги сарф харажатларни камайитиришга имкон беради. Контактсиз кучланиш релесининг бошқариш тизимида, турли ночизикли электр занжирларни филътр сифатида ишлатиш мумкин. Бундай электр занжирларни таҳлил қилишнинг самарали усулларини яратиш, электр таъминоти, автоматлаштириш, ҳисоблаш техникаси учун ишончли ва юқори сифатли қурилмаларни ишлаб чиқишда муҳим аҳамиятга эга [7-10, 12].

Юқорида таъкидланганлар асосида катта юклама тоқларини коммутациялашга имкон берувчи содда ва ишончли контактсиз кучланиш релеси схемасини яратиш зарурлигини асослаймиз. Шу мақсадда, ушбу мақолада ночизикли электр занжирининг тадқиқи кўриб чиқилган.

Ночизикли электр занжирлар асосида яратилган қурилмалар: автоматика, радиоэлектроника, ҳисоблаш техникаси ва электр таъминоти соҳаларида кенг қўлланилмоқда. Автоматик қурилмалар учун бошқарув тизимларини ишлаб чиқилишини турли схемалар орқали ҳал қилиш мумкин. Биз кўриб чиқаётган ночизикли электр занжирда VD диод, R_1 актив қаршилик ва C сиғимга параллел уланган R_2 актив қаршилик элементлари кетма-кет, ҳамда юклама қисмида VU опотиристор, диодли кўприк ва $R_{ю}$ актив қаршилик уланган (1-расм) [5, 13-14].

Ҳозирги вақтда бундай занжирларни таҳлил қилишнинг турли усуллари мавжуд бўлиб, классик усул ёрдамида ечиш ва таҳлил қилиш жараёнини кўриб чиқамиз.



1-расм. Ночизикли электр занжир схемаси

Занжир кучланиши қуйидаги қонуният асосида ўзгаради:

$$u = U_m \sin \omega t \quad (1)$$

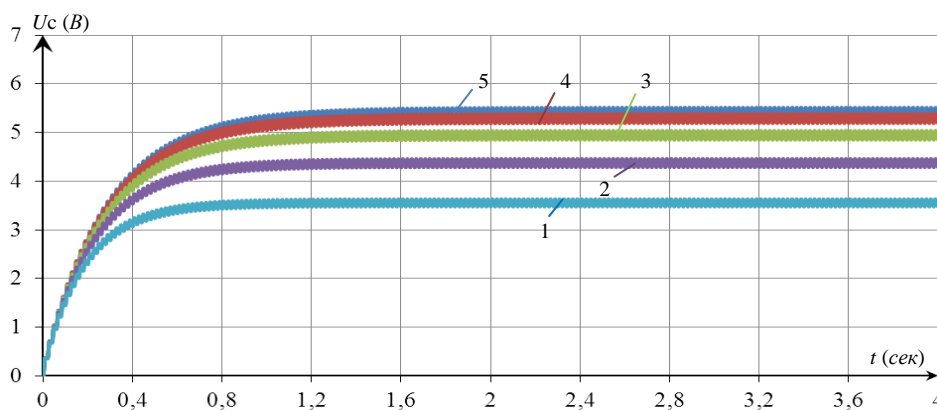
Занжирнинг тармоқ кучланишига уланиш бурчаги φ ни нолга тенг деб қабул қиламиз. Ўткинчи жараён диоднинг ҳар бир очилиш даврида ҳисобланади [5-6, 11, 13-14]. Бунда сиғимдаги кучланишни тавсифловчи тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$U_c = U_m \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 - e^{-\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot C} t} \right) \quad (2)$$

бу ерда, U_m – тармоқ кучланишининг максимал қиймати, R_1 , R_2 ва C занжир элементлари.

1-расмда келтирилган нозичқили электр занжирини таҳлил қилишда, ушбу усулнинг амалий тадбиқини кўриб чиқамиз. Ушбу занжир кучланиш манбаига уланганида, динамик жараёни таҳлил қилиш талаб қилинади. Классик усулнинг таҳлили асосида, ушбу занжирнинг дифференциал тенгламасини ечиб, динамик жараёни сиғимдаги кучланишни тавсифловчи (2) тенглама орқали ҳисобланишига эришилади [5, 13-14].

2-расмда тармоқ кучланиши $U_m=18$ В, сиғим $C=1$ мкФ, қаршилик $R_2=3,0$ кОм ўзгармаган ҳолда интеграллаш қадами $h=0,001$ ва R_1 қаршиликнинг 5 хил қийматида (1 – $R_1=0,3$ кОм; 2 – $R_1=0,5$ кОм; 3 – $R_1=0,8$ кОм; 4 – $R_1=1,0$ кОм; 5 – $R_1=1,2$ кОм) динамик жараёнларининг таҳлили келтирилган.



2-расм. Сиғим кучланишининг ўзгариш графиги $U_c=f(t)$: $C, R_1=\text{const}$; $R_2=\text{Var}$

Келтирилган характеристикалар натижасидан хулоса қилиш мумкинки, R_1 қаршиликни ўзгартириш орқали, контактсиз кучланиш релеси тиристорининг бошқарув электродини очиш кучланиши ва қайтиш коэффициентининг вақт бўйича ўзгаришини аниқланишига эришилади.

Маълумки тиристорнинг очилиш вақтини бошқариб, юклама токининг эгри чизиқ шаклига таъсир этса бўлади. Агар анод кучланиши “мусбат” ярим даврининг бошланиши ва тўғри токнинг бошланғич оқиши бошланиши орасидаги ϕ фазаларнинг силжиши нолга тенг бўлса, юклама токининг эгри чизиқли шакли синусоида бўлади. Юкламадаги кучланиш эгри чизиқ шакли носинусоидал бўлган тиристорли кучланиш релесининг ишлаши, кўпгина электр ускуналар учун бу номинал ишлаш режими бўлмайди. Юкламадаги кучланиш ва токни эгри чизиқ шаклининг

синусоидаллигини таъминлаш учун, ток холдан ўтаётганида тиристорнинг очилишига эришиш керак [11-12, 15].

Магнит кучайтиргич, диодли кўприк ва қўшимча қаршиликлардан ташкил топган электроферромагнит элемент асосида яратилган контактсиз кучланиш релелари бизга маълумдир. Бундай қурилмаларнинг камчилиги, уларнинг оғирлик-ўлчам кўрсаткичларининг катталиги ҳамда қўшимча ўзгармас ток манбаларидан фойдаланишидадир [4-6].

Шунингдек, тиристор, иккита диод, стабилитрон ва иккита қўшимча қаршиликлардан иборат яримўтказгичли элементлар асосида тайёрланган кучланиш релелари ҳам бизга маълумдир. Бундай қурилмаларнинг камчилиги, уларнинг кам қувватлилиги, ўзгармас ток манбаидан ҳамда номинал параметрлари катта ёйилмага эга бўлган стабилитрондан фойдаланишидадир, бу эса реленинг нотўғри ишлашига олиб келади [6-8, 12].

Таклиф этилаётган қурилмага энг яқин - бу диод кўприкдан ташкил топган кучланиш релеси бўлиб, унинг диагоналида бошқарилувчи тиристор уланади ва диод кўприк юклама билан кетма-кетликда тармоққа уланади ҳамда тиристор ҳолатини бошқариш сигналлари актив қаршилиқ орқали тармоқдан олинади. Бу реленинг камчилиги - юклама кучланиши эгри чизигининг синусоидал бўлмаган шаклидир [8-9, 12].

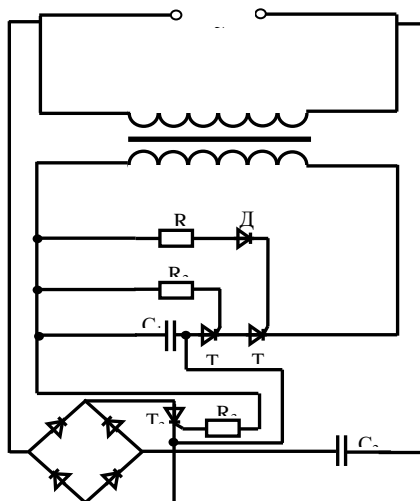
Олдимизга қўйилган вазифа - юкламадаги кучланиши эгри чизигининг шакли синусоидал бўлган контактсиз кучланиш релесини яратишдан иборат. 3-расмда юкланишнинг кучланиш шакли синусоида бўлган ва тиристорларга асосланган контактсиз кучланиш релесининг принципиал электр схемаси келтирилган [8-9, 12, 15].

Ушбу схема электр техникаси соҳасига тегишли бўлиб, саноат корхоналарининг электр таъминоти тизимларида автоматлаштириш қурилмалари, контактсиз коммутацияловчи ва бошқарув ускуналарини яратишда фойдаланиш мумкин.

Олдимизга қўйилган вазифани ечиш йўлида контактсиз кучланиш релеси қуйидагилардан ташкил топган, яъни: диодли кўприк, унинг диагоналига уланган бошқарилувчи тиристор, ўз навбатида диодли кўприк юклама билан кетма-кет равишда тармоққа уланган, бошқарув сигналлари конденсатор обкладкасига уланган резистор орқали куч тиристорининг бошқарув электродига берилади, шунингдек иккита кичик қувватли бошқарилувчи тиристорлар кетма-кетликда ўзаро улашиб, пасайтирувчи трансформаторнинг иккиламчи чулғамига ҳам уланган, шулан билан бирга мазкур тиристорларга бошқарув сигналлари ушбу трансформатордан унга уланган резистор ҳамда мос равишда кетма-кет уланган диод ва резистор орқали берилади [8-9, 12].

Тавсия этилаётган схема бўйича контактсиз кучланиш релесини амалга қўллаш, юкламада синусоидал шаклга эга бўлган кучланишни олиш ва қайтиш коэффициентини бирга яқинлигига эришиш имконини беради. Тиристорли контактсиз кучланиш релеси «Электр таъминоти»

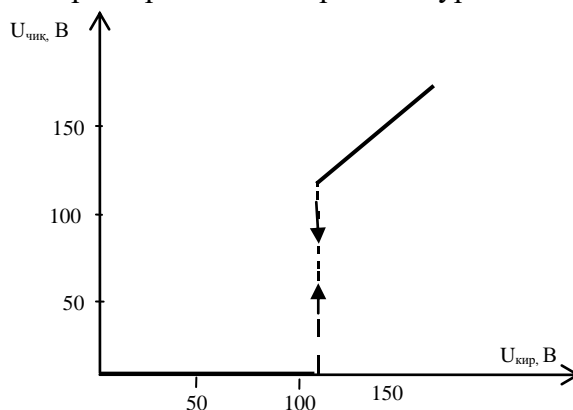
кафедрасида синовдан ўтказилиб, тажриба жараёнида T_1 - КУ202И; T_2 - КУ202И; T_3 - КУ202Р туридаги тиристорлар, КЦ402Б диодли қўприк, $R_1=5,6$ кОм; $R_2=160$ Ом ва $R_3=390$ Ом актив қаршилиқлар, $C=30$ мкФ бўлган конденсаторлар ва таъминловчи манбада кучланиши 220/24 В бўлган бир фазали трансформатор ишлатилган.



3-расм. Тиристорли контактсиз кучланиш релесининг принципиал схемаси

Тажриба тадқиқотлари шуни кўрсатдики, C_2 юклама (конденсатор батареяси) 170 В кучланишда тармоққа уланади. Келтирилган схема бўйича ишлаб чиқилган контактсиз кучланиш реле юкламасидаги кучланишни синусоида шаклини олишига имкон берди ва бунда қайтиш коэффицентининг бирга яқин бўлишига эришилди [8-9, 12].

3-расмда келтирилган тиристорли контактсиз кучланиш релесини тадқиқот натижалари бўйича тажрибадан ўтказилиб, унинг “кириш-чиқиш” кучланиш характеристикаси 4-расмда кўрсатилган.



4-расм. Релесининг “кириш-чиқиш” характеристикаси

Бизга маълумки, вольт қўшиш схемаси асосида ишлаб чиқилган конденсатор батареясини бошқариш жараёнида юкламадан ўтаётган токни узмасдан куч калитларини улаш орқали амалга оширилади.

Хулоса: 1. Ушбу мақолада контактсиз кучланиш релеси ёрдамида конденсатор батареяси бошқарув тизимини контактсиз коммутациялаб, реактив қувватни ростлаш схемасини такомиллаштириш масалалари кўриб чиқилган.

2. Ночизикли электр занжирларнинг динамик режимлари ва ишлаш жараёнлари кўриб чиқилган.

3. Ночизикли электр занжирлар тадқиқи асосида, тиристорли контактсиз кучланиш релеси схемаси ишлаб чиқилган.

4. Коммутацияловчи қурилмаларга қўйиладиган асосий талабларни кўриб чиққан ҳолда, конденсатор батареялари учун реактив қувватни автоматик бошқариш схемаси такомиллаштирилган.

5. Такмиллаштирилган схема ёрдамида конденсатор батареяси қувватини контактсиз коммутациялаш учун фойдаланиш мумкин.

Адабиёт

1. Кублановский Я.С. Тиристорные устройства. 2-из. Учебное пособие. – М.: Радиосвязь, – 1997-112.

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

3. Bobojanov M.K., Usmanov E.G., Abduraimov E.H., Karimov R.Ch. Resistive time delay switches. Scientific journal «European Science Review». Austria, 2018 - №1-2. – pp.210-212.

4. Бобожанов М.К., Каримов Р.Ч., Сатторов Х.А. Электр таъминоти тизимида контактсиз кучланиш релесини тадқиқ қилиш. “Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари” илмий журнали, 2020 №1(11). - Б.111-114.

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

6. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. Учебное пособие. - 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. – 1986-568 с.

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

8. Karimov R.Ch. [Using Optoelectronic Noncontact Voltage Relay In Electrical Supply Systems](https://uzjournals.edu.uz/btstu/vol2019/iss2/8). Technical science and innovation. №2 (2019). uzjournals.edu.uz/btstu/vol2019/iss2/8
9. Usmanov E.G., Rasulov A.N., Bobojanov M.K., Karimov R.Ch. Non-contact voltage relay for switching windings of a boost transformer. E3S Web of Conferences 139, 01079 (2019), doi.org/10.1051/e3sconf/201913901079
10. Karimov R.Ch., Sobitov S.S., Karimov I.Ch. Nochiziqli rezistiv elektr zanjirlarida dinamik jarayonlarni analitik approksimatsiya (linearizatsiya) usuli yordamida hisoblash dasturi. O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. EHM dasturini rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 07863, 10.03.2020.
11. Karimov R.Ch., Sheraliyev D.D., Karimov I.Ch. Nochiziqli rezistiv elektr zanjirlaridagi dinamik jarayonlarni Lagranj usuli yordamida hisoblash dasturi. O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. EHM dasturini rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 07864, 10.03.2020.
12. Собитов С.С., Каримов Р.Ч. Исследование гармонического кривые напряжения в системах электроснабжения./ Сборник статей XXVII International Scientific-Practical conference «Advances in Science and Technology». Россия, Москва, 2020. – С.71-74.
13. Каримов Р.Ч., и др. Вопросы расчета параметров и выбора элементов бесконтактных устройств на примере автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей. // Электронный научный журнал «Научно-практические исследования» (ISSN: 2541-9528). – Омск (Россия), 2020. - №12-10 (35). – С.10-16.
14. Собитов С., Зубайдуллаев М., Каримов Р.Ч. Обзор литературных источников и материалов по бесконтактным устройствам для компенсации реактивной мощности. / Сборник материалов республиканской научно-технической конференция «Актуальные вопросы выработки, передачи и распределения, а также рационального использования электроэнергии» (посвящается 80 - летнему юбилею профессора Х.Г.Каримова). Ташкент, 2020. – С.119-121.
15. Шералиев Д.Д., Каримов Р.Ч. Вопросы исследования бесконтактного тиристорного реле напряжение в системах электроснабжения./ Сборник статей XXVII International Scientific-Practical conference «Advances in Science and Technology». Россия, Москва, 2020. – С.90-93.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган.*

УДК 620.95.504.7.

**РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА И
СОПУТСТВУЮЩИХ ПРОДУКТОВ ИЗ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН****Н.И. Чернова, С.В. Киселева**

Maqolada O'zbekistonda mikroalgae (MA) yetishtirish uchun joylarni oqilona tanlash va joylashtirish bo'yicha yondashuvlar keltirilgan. Mikroalga biomassasini ishlab chiqarish va kompleks ishlatishda mintaqaviy va iqlim omillarining ta'sirini tahlil qilish amalga oshirildi. Uzoq muddatli laboratoriya va dala tajribalari, shuningdek adabiyot manbalarini tahlil qilish asosida MA ni ochiq yetishtirish uchun iqlim omillarining chegara qiymatlari asoslandi: yorug'lik kamida $4,0 \text{ kVt} / \text{m}^2 / \text{kun}$, nisbati yorug'lik va qorong'i fazalar kamida 6:18, harorat muhiti 15°S dan past emas. Tadqiqot ob'yekti sifatida Dunal-iella va Arthrospira avlodlari MA taklif qilindi. MAC va yuqori qo'shimcha qiymatga ega qo'shma mahsulotlarni yetishtirish uchun mos keladigan O'zbek-iston hududlari aniqlandi.

В работе представлены подходы к рациональному выбору и размещению площадок для культивирования микроводорослей (МКВ) в Узбекистане. Проведен анализ влияния региональных и климатических факторов на производство и комплексное использование биомассы микроводорослей. На основе собственных многолетних лабораторных и натурных экспериментов, а также анализа литературных источников, обоснованы пороговые значения климатических факторов для открытого культивирования МКВ: энергия освещенности не менее $4,0 \text{ кВт.ч/м}^2/\text{сут}$, соотношение световой и темновой фазы не менее, чем 6:18, температура окружающей среды - не ниже 15°C . В качестве объекта исследований были предложены МКВ родов Dunal-iella и Arthrospira. Определены районы Узбекистана потенциально пригодные для культивирования МКВ и со-продуктов с высокой добавленной стоимостью.

The paper presents approaches to the rational selection and placement of sites for the cultivation of microalgae (MA) in Uzbekistan. The analysis of the influence of regional and climatic factors on the production and complex use of microalgae biomass has been carried out. On the basis of our own long-term laboratory and field experiments, as well as analysis of literary sources, the threshold values of climatic factors for the open cultivation of MA were substantiated: energy illumination not less than $4.0 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{day}$, the ratio of light and dark phases not less than 6:18, temperature environment not lower than 15°C . The MA of the genera Dunal-iella and Arthrospira were proposed as

the object of research. Areas of the Uzbekistan that are potentially suitable for cultivation of MAC and co-products with high added value have been identified.

В настоящее время в мире уделяется большое внимание методам снижения выбросов CO₂ в атмосферу, что отражается в концепции низкоуглеродной экономики. Существенное место в перспективных методах сокращения углеродных выбросов занимает биоэнергетика или шире – различные методы наращивания поглощения CO₂ из атмосферы с помощью фотосинтезирующих организмов. В этом ряду в первую очередь рассматриваются наземные лесные экосистемы. Однако интерес представляют также иные виды фотосинтезирующих растительных организмов, в том числе микроводоросли (МКВ). Культивирование МКВ можно рассматривать и с точки зрения депонирования CO₂, и с точки зрения производства из МКВ широкого спектра продуктов, включая линейку биотоплив (биодизель, биоэтанол, биобутанол, биоводород, бионефть, биометан), биологически активные добавки к пище и кормам и иные целевые продукты с высокой добавленной стоимостью. В этой связи большую роль при оценке потенциала данного метода секвестирования CO₂ и производства целевых продуктов является анализ природных и инфраструктурных факторов, обеспечивающих возможность рационального выбора мест для развертывания плантаций МКВ. Наиболее значительными природными ресурсами для производства биомассы МКВ обладают страны с высоким потенциалом солнечной энергии и теплым климатом. Большую роль играет также наличие транспортной инфраструктуры, дешевых местных источников сырья и научно-технологических школ и кадров в области микробиологии и альгологии. Уже сейчас установки по выращиванию МКВ открытого типа используются в Израиле, Италии, Болгарии, Мексике, Чили, Бразилии, Таиланде, Индии, Китае, Японии, Канаде, Австралии, Новой Зеландии, США (Калифорния, Гавайи), Азербайджане, Молдове и других странах.

В связи с этим актуальным представляется рассмотрение территории Республики Узбекистан с целью оценок природно-климатических ресурсов для культивирования и промышленного производства биомассы микроводорослей.

Теоретические основы выбора территорий для оптимального размещения плантаций микроводорослей. Среди возобновляемых источников энергии (ВИЭ) биомасса исторически всегда находила наиболее широкое применение. Поэтому актуальной задачей стал поиск новых видов биомассы, новых технологий её переработки и, особенно, технологий комплексного использования, в том числе с получением биотоплива. Водоросли – это постоянно возобновляемый ресурс, источник пищевых и кормовых белков и других ценных соединений, таких как углеводы, ли-

пиды, витамины, минералы, микроэлементы и антиоксиданты. Использование культивируемой биомассы МКВ для нужд энергетики не нарушает естественную консервацию органического вещества в биосфере; плантации МКВ служат эффективным краткосрочным стоком антропогенного CO₂, конвертируя его в энергию высокой плотности. Этот фактор позволяет учесть секвестирование CO₂ при оценке энергоэффективности производства биотоплива из МКВ, а водорослевые технологии – рассматривать среди существующих стратегий кратко/средне/долгосрочного улавливания и хранения CO₂ (англ. Carbon capture and storage, CCS), таких как:

1) захоронение общей биомассы МКВ в глубоких геологических образованиях;

2) захоронение богатых углеродом фракций, извлеченных из биомассы водорослей;

3) конверсия МКВ технологией гидротермального сжижения (HTL), в результате которой 55% углерода биомассы может превращаться в биоуголь, содержащий около 90% углерода, с последующим захоронением этого геологически стабильного биоугля [1].

Возможным способом снижения стоимости биотоплива на основе МКВ является производство ценных сопутствующих продуктов для химической, фармацевтической, медицинской, пищевой и кормовой промышленности (нуклеотики, каротиноиды, β - каротин, астаксантин, фикоцианин, хлорофилл, глицерин и пр.), обеспечивающих высокую добавленную стоимость. Кроме того, использование отходов других производств и, особенно сточных вод, при выращивании МКВ также может снизить стоимость производства биотоплива. В качестве таких отходов следует рассматривать: дымовые и тепловые выбросы электростанций, промышленных предприятий, сточные воды и другие отходы [2]. Как правило, выращивание МКВ в качестве сырья для биотоплива проводится в открытых лотках (культиваторах), что требует большого количества воды. Однако эта проблема может быть решена использованием соленых вод и земель, непригодных для выращивания других культур. Положительный вклад в конкурентоспособность биотоплива из МКВ вносит применение технологий конверсии (например, гидротермальное сжижение), которые не требуют предварительной сушки биомассы и тем самым экономят до 25% энергии [3]. Таким образом, при промышленном культивировании МКВ открываются широкие возможности для утилизации CO₂ и попутной очистки сточных вод от органических и минеральных загрязнителей, а также значительно снижается нагрузка на запасы пресной воды.

Дальнейшее повышение эффективности производства энергетических и иных целевых продуктов из МКВ является одной из ключевых в области микроводорослевых биотехнологий. Поэтому значительный

объем экспериментальных работ посвящен разработке и апробации методов культивирования, включая конструкцию культиваторов, способы сбора и переработки биомассы, поиск дешевых источников CO_2 , микро- и макроэлементов для питательных сред, которые позволяли бы существенно удешевить производство биомассы. При этом очевидным является выбор южных регионов как наиболее благоприятных по физико-географическим условиям для минимизации затрат на освещение и обогрев плантаций МКВ – особенно при открытом культивировании. Для оценки производительности плантаций МКВ в различных климатических условиях предпринимались как экспериментальные, так и теоретические исследования. В [4] на основе экспериментальных работ по выращиванию микроводоросли *Dunaliella salina* и получения из нее каротина на юге Испании (Кадисский залив) определены зависимости продуктивности от внешних климатических условий и технических параметров культиваторов. Поскольку использовались открытые плоскостные культиваторы, то в качестве определяющих внешних условий были рассмотрены средние месячные уровни приходящей солнечной радиации. Так как затраты воды на культивирование, в том числе компенсация испаренной из культиваторов воды, часто является критичным фактором, учитывались также средняя месячная влажность, осадки, максимальные и минимальные температуры воздуха, количество часов солнечного сияния.

Среди технических параметров культивирования рассматривались толщина слоя культуральной жидкости, скорость движения суспензии МКВ в процессе перемешивания, плотность клеток и др. Измеренная продуктивность МКВ в различные сезоны года и в зависимости от технических параметров установок позволяет прогнозировать эффективность плантаций такого типа в близких природно-климатических условиях.

Оценку продуктивности МКВ по биомассе и целевым продуктам (белкам, липидам, углеводам) проводят также на основе теоретических представлений об эффективности фотосинтеза и значений приходящей солнечной радиации. Авторы [5] на основе анализа территории Эфиопии рассмотрели 5 регионов, предположительно наиболее оптимальных для культивирования биомассы МКВ с точки зрения достаточности приходящей солнечной радиации и с учетом изменений температуры воздуха в течение года. Исходя из указанных характеристик, были сделаны оценки потенциальной производительности открытых плантаций МКВ по биомассе и липидам, а также по получению биодизеля и секвестра выбросов CO_2 на основе многолетних средних данных о приходе солнечной радиации на территории Эфиопии, а также осредненных характеристик, приведенных в научной литературе (энергосодержание биомассы и липидов в составе МКВ, доля липидов в биомассе и т.д.). В результате продуктивность МКВ для условий Эфиопии была оценена как $85,76 \text{ г/м}^2/\text{сутки}$

(биомасса), 101 249 л/га/год (липиды), 82,7 т CO₂/га/год (потенциальное сокращение выбросов CO₂).

Подобная теоретическая задача количественной оценки потенциала промышленного производства биодизеля из водорослей была поставлена и решена для территории Индии в [6]. Поскольку вариации прихода солнечной радиации и температуры воздуха на территории Индии существенны, целью исследования был выбор подходящих областей для выращивания биомассы МКВ с учетом этих природных факторов, а также наличия свободных площадей. Оценки показали, что, в зависимости от уровня радиации, ежегодный урожай МКВ на доступных для культивирования площадях может составить от 159 до 345 т/га/год (по биомассе) и от 57 000 до 162 000 л/га/год (по биодизелю). Для Индии был проведен углубленный анализ следующих климатических и инфраструктурных факторов [6,7], которые были представлены в виде карт:

- уровень прихода солнечной энергии, температура воздуха с учетом сезонности;
- источники низкокачественных вод, пригодных для культивирования МКВ;
- дешевые источники питательных веществ для культивирования (в том числе источники CO₂, промышленные и коммунальные сточные воды);
- неиспользуемые (маргинальные) земли – деградированные пахотные земли, пастбища и леса, промышленные и природные пустоши. Выдвинутая в работе идея совмещения культивирования МКВ для получения энергетических и иных целевых продуктов с производствами, отходы которых можно использовать для роста МКВ (ко-локализация), получила в дальнейшем широкое развитие. Справедливо было указано также, что улавливание CO₂ плантациями МКВ до его выброса в атмосферу предоставляет возможность получения углеродных кредитов, что улучшает экономические характеристики проектов.

В [8], помимо данных о приходе солнечной радиации на территории Сицилии (Италия), были учтены также другие факторы, которые могут ограничить или вовсе сделать непригодными территории для выращивания биомассы МКВ в открытых культиваторах с целью получения биодизеля. В качестве таких факторов были рассмотрены:

- уклон поверхности (исключались территории с уклоном более 5%);
- высота над уровнем моря (исключались территории с высотой более 500 м);
- средняя годовая температура воздуха более +15°C;
- тип землепользования (исключались территории в частной собственности, сельскохозяйственные и селитебные земли, особо охраняемые территории).

Нами был проведен анализ влияния региональных, климатических и инфраструктурных факторов на ресурсный потенциал производства МКВ *Arthrospira platensis* и *Dunaliella salina* и биотоплива из них для Республики Дагестан. Регион был выбран в связи с благоприятными климатическими условиями и наличием ресурсов для культивирования МКВ (морская вода как источник макро- и микроэлементов, геотермальные месторождения как низкотемпературный источник тепла, цементные заводы и тепловые электростанции как источник CO₂). Определены районы Дагестана, потенциально пригодные для получения биотоплива и попутных целевых продуктов из МКВ [9].

В Республике Узбекистан накоплен большой опыт по культивированию и выращиванию МКВ для народного хозяйства. В 70-80 гг. под руководством академика АН РУз А.М.Музафарова в Институте микробиологии велись широкомасштабные исследования в области фундаментальных и прикладных проблем экспериментальной альгологии, создана известная научная школа альгологии. В настоящее время в Лаборатории микробной экобиотехнологии поддерживается коллекция МКВ (более 100 штаммов), среди которых имеются высокоэффективные продуценты липидов и жирных кислот для получения биодизеля [10-12]. В работах [13, 14] описаны светоустойчивые штаммы из родов *Chlamydomonas* и *Cyanidium* с коротким периодом адаптации и высокой продуктивностью, что немаловажно для климатических условий Узбекистана.

Вследствие высыхания Аральского моря, концентрация солей во многих оставшихся водоёмах Приаралья стала более 100 г/л, и в них полностью изменился состав фито- и зоопланктона. В частности, в водоёмах Приаралья стали доминировать два важных, с точки зрения промышленного разведения, микроорганизма: микроводоросли *Dunaliella salina* и микрорачок *Artemia parthenogenetica*. Дуналиеллу промышленно культивируют в Австралии, Китае, США, Израиле и др. из-за β-каротинов (до 10% биомассы), липидов (до 10% биомассы) и глицерина (до 30% биомассы).

В настоящее время в Узбекистане разрабатываются проекты по выращиванию МКВ. Один из них называется «Строительство пилотной мини плантации для отработки технологии производства биомассы МКВ *Dunaliella salina*, цист микрорачков артемии, порошка и масляного экстракта β-каротинов» [15]. Перспективно также культивировать дуналиеллу в качестве корма для артемии, которые, в свою очередь, являются ценным кормом для осетровых рыб. Специфика гиперсолёных водоёмов Приаралья такова, что в естественных условиях можно получать один – два урожая цист артемии в год. Для увеличения производства артемии необходимо строительство промышленных плантаций, в которых можно получать до 10 урожаев цист в год. Одной из задач на современном этапе является строительства вблизи одного из солёных водоёмов (более 50 г/л)

или скважины в Приаралье системы мелководных (50 см) кольцевых прудов общей площадью до нескольких гектаров для промышленного выращивания в них дуналиеллы и микрорачков артемии.

Кроме того, по линии МФСА в Узбекистане предложен проект «Научные основы рекреации экосистемы вокруг западной части Аральского моря и предварительное технико-экономическое обоснование для продвижения экотуризма в этой зоне», в задачах которого – создание пилотных лотков для тестирования трех видов ценных микроводорослей спирулина, дуналиелла и др. и их переработка с использованием рассольных вод из Западного Арала, снабжение оптимальными режимами подачи питательных материалов, микроэлементов, аэрации и температуры для повышения их продуктивности [16].

Материалы и методы. При принятии решения о производстве МКВ, в том числе для целей возобновляемой энергетики, важным является выбор площадки, которая обеспечивала бы необходимые природные и инфраструктурные условия. Таким образом, оценка ресурсов – обязательная при проектировании солнечных, ветровых, гидроэнергетических и иных объектов возобновляемой энергетики – включается и в тематику исследовательских работ в области микроводорослевой энергетики.

Основой производства биотоплива является биомасса МКВ, которая может быть выращена открытым способом в течение теплого времени года или в тепличных комплексах круглогодично. В связи с этим под ресурсным потенциалом в дальнейшем примем площадь территории, которая может быть использована для производства биомассы МКВ открытым способом, а также потенциальную годовую урожайность МКВ или количество биотоплива, полученных на этой территории с помощью современных технологий.

Условия, необходимые для культивирования МКВ, в том числе собственный опыт культивирования позволил сформировать перечень физико-географических факторов, определяющих возможность получения биомассы в открытых культиваторах без использования энергии внешних источников (кроме термальных вод) (табл. 1).

Таблица 1

Физико-географические факторы производства биомассы микроводорослей

Физико-географические факторы	Вид фактора	Величина фактора/качественная характеристика
Климатические	Величина солнечной радиации (средняя суточная сумма суммарной солнечной радиации)	Не ниже 4 кВт·ч/м ² /сутки (или 14 МДж/м ² /сутки)
	Продолжительность светового периода в течение суток (соотношение световой и темновой фазы роста)	Не менее 6:18 (световая фаза к темновой фазе, в часах)

	МКВ)	
	Температура воздуха	Средняя суточная температура не ниже +15°C
Природные источники микро- и макро-элементов для питательных сред и низкотемпературного тепла	Наличие источника термальных вод	Желательно
	Температура термальных вод.	Не ниже +(35-40)°C
	Наличие источника пресной или морской воды	Необходимо
Геоморфологические факторы	Уклон поверхности Земли	Не более 5%

Физико-географические характеристики, указанные в табл. 1 для территории Узбекистана, были получены на основе базы данных NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) [17] занятая, Научно-прикладного справочника по климату СССР [18], Экологического атласа Узбекистана [19] и др. источников.

Результаты и обсуждение. Выбор Республики Узбекистан как оптимальной территории для культивирования и промышленного производства биомассы МКВ определяется климатическими условиями, позволяющими проводить выращивание МКВ в течение теплого времени года без дополнительных затрат тепловой и световой энергии (табл. 2). Близость Аральского моря и нарушенных территорий Приаралья обеспечивает выращивание галофильных МКВ на морской и засоленных подземных водах, поэтому для проведения анализа были выбраны МКВ *A. platensis* и галофильная *D. salina*. Эти два вида МКВ выращивают в мире в промышленных масштабах дешевым открытым способом как для применения в качестве биологически активных добавок к кормам и пище (БАД), так и для получения биотоплива [4,7].

В данном исследовании территория Республики Узбекистан была проанализирована только с точки зрения климатических условий, пригодных для выращивания МКВ с минимальными затратами дополнительной тепловой и электрической энергии. Территория республики имеет преимущественно широтное простирание: при общей площади 448,9 тыс. кв. км, ее протяженность с запада на восток составляет 1425 километров, с севера на юг – 930 километров. Для укрупненного анализа динамики температуры воздуха, прихода радиации и количества часов солнечного сияния территория Узбекистана была разделена на три блока прямоугольной формы, покрывающих территорию с севера на юг и с протяженностью по широте около 4 градусов. На основе БД NASA POWER был собран массив данных о средних месячных температурах воздуха (на высоте 2 м), среднемесячных суточных суммах суммарной солнечной радиации, и продолжительности светлого времени суток. Пространствен-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

ная детализация данных – 1°; период осреднения – 20 лет (1999-2019 гг.). Число часов солнечного сияния для средних точек каждого блока были взяты из [18] (табл. 2).

В результате анализа были определены средние по каждому блоку значения указанных характеристик и показана незначительность их пространственной изменчивости в пределах блоков. При этом разница средних суточных температур воздуха между крайними блоками, охватывающими западную и восточную часть страны составляли в максимуме 5,5°C, суточных сумм суммарной солнечной радиации – 0,5 кВт.ч/м²/сутки (в зимний период). Анализ рельефа (уклонов) и ландшафтов территории Республики Узбекистан позволили рассматривать территорию Каракалпакстана, включающую в себя, в том числе, районы, прилегающие к Аральскому морю, как наиболее пригодные для культивирования микроводорослей. При этом были исключены из рассмотрения западные регионы Узбекистана, как наиболее плотно заселенные области с высотной поясностью, и средняя часть республики – область обширных естественных пустынь [19].

Таблица 2

Климатические характеристики территории Республики Узбекистан
(Каракалпакия), значимые для культивирования МКВ
(средние многолетние значения [17, 19])*

Месяц года	Средняя температура воздуха, °C	Солнечное сияние, часы	Отношение световой и темновой фазы (часы, среднее за месяц)	Средняя суточная сумма суммарной солнечной радиации, кВт.ч/м ² /сутки
Январь	-1,97	104	09.30:14.30	1,76
Февраль	0,00	138	10.40:13.20	2,71
Март	7,26	172	11.55:12.05	3,96
Апрель	15,02	227	13.20:11.40	4,99
Май	23,20	326	14.30:09.30	6,29
Июнь	28,92	333	15.10:08.50	7,31
Июль	31,43	351	14.55:09.05	7,02
Август	29,45	347	13.50:11.10	6,42
Сентябрь	22,18	286	12.30:11.30	5,05
Октябрь	13,11	222	11.10:12.50	3,34
Ноябрь	4,35	132	09.50:14.10	2,13
Декабрь	-0,81	81	09.10:14.50	1,56

*Желтым цветом выделены те значения климатических факторов, которые соответствуют требованиям к условиям выращивания МКВ в открытых культиваторах без дополнительных затрат энергии на отопление и освещение.

Красным шрифтом отмечены месяцы года с оптимальным соотношением климатических условий

Площадь территории Каракалпакстана, не имеющая существенных ограничений для размещения плантаций для культивирования МКВ по физико-географическим характеристикам, составляет 166,6 тыс. км² [19]. Для точного количественного определения пригодных для производства МКВ площадей требуется детальный анализ инфраструктуры, типов землепользования, ландшафтов и других ограничений. На основе ранее принятых подходов [9], расчеты потенциальной урожайности такого рода плантаций были проведены в предположении, что 0,5% (833 км²) территории могут быть заняты под плантации МКВ. Согласно [20], по результатам культивирования в Узбекистане хлореллы в открытых бассейнах в течение 7 месяцев была достигнута урожайность 30-50 т/сухой биомассы с 1 га водной поверхности при глубине 10-15 см. Для спирулины были получены аналогичные показатели. Технологический процесс выращивания *D. salina* более трудоемкий по сравнению, например, с технологией выращивания *A. platensis*, позволяющей получать в 10-20 г/м²/сутки сухой массы водорослей. Для *D. salina* продуктивность составляет 2 г/м²/сутки. Хотя есть сообщения, что при двухстадийной системе промышленного культивирования *D. salina* с использованием квазинепрерывного метода на первом этапе выращивания, продуктивность составила 6 г/м²/сут. [21]

Исходя из вышесказанного, потенциальный урожай биомассы микроводорослей хлореллы и спирулины при средней суточной продуктивности 20 г/м²/сутки по сухому весу (реально достигнуты при массовом культивировании в Узбекистане) и продолжительности вегетационного периода 6 месяцев составит 3 млн. т в год. При переработке этой биомассы МКВ методом гидротермального сжижения (температура +330°C) выход бионефти (40% от биомассы микроводорослей, согласно [22]) составит 1,2*10⁶ т в год. Для дуналиеллы, продуктивность которой существенно ниже (2-6 г/м²/сутки), потенциальная урожайность на той же площади составит в 3 – 10 раз меньше. В работе [23] авторы обосновали размер единичной водорослевой плантации не менее 400 га, при этом еще 90 га нужно отвести под инфраструктуру. Эта площадь водорослевых плантаций была принята нами как базовая в дальнейших расчетах. Производительность такой единичной плантации хлореллы или спирулины в условиях Каракалпакии за вегетационный период (6 месяцев) составит 14 400 т (по биомассе) и 5 760 т/год (по бионефти). При выращивании дуналиеллы – 1 440 - 4 800 и 580 - 1900 т/год, соответственно.

Заключение

Культивирование МКВ можно рассматривать как перспективный метод депонирования CO₂, а также производства широкого спектра продуктов, включая различные виды биотоплива, биологически активные

добавки к пище и кормам для артемии, сельскохозяйственных животных и птицы. При оценке потенциала данного метода секвестирования CO₂ и производства целевых продуктов важным является анализ природных и инфраструктурных факторов для рационального выбора мест под плантации МКВ. Рассмотрение территории Узбекистана с точки зрения выбора оптимальных территорий для культивирования МКВ проведено на основе анализа ряда физико-географических факторов: уровень прихода солнечной энергии, продолжительность светового периода в течение суток, температура воздуха с учетом сезонности, наличия свободных территорий и местных источников питательных веществ, уклона поверхности Земли и ряда других. В качестве наиболее пригодного с точки зрения задач исследования предложена Республика Каракалпакстан с потенциальной площадью для развертывания плантаций порядка 0,5% от территории. Климатические условия, гиперсолёность морской воды Арала позволяют достигнуть урожайности с единичной плантации площадью 400 га на данной территории за вегетационный период (6 месяцев) 14 400 т (по биомассе) и 5 760 т/год (по бионефти) для хлореллы или спироулины. При выращивании дуналиеллы урожайность такой плантации – 1 440–4 800 и потенциальное производство биотоплива из нее – 580 – 1900 т/год, соответственно.

Литература

1. Hielmann S M, Davis H T, Jader L R, Lefebvre P A, Sadowsky M J, Schendel F J, von Keitz M G and Valentas K J. 2010 Biomass and Bioenergy 34 875–82.
2. Muller E E L, Sheik A R and Wilmes P 2014 Curr. Opin. Biotechn. 30 9–16.
3. Власкин М. С., Григоренко А.В., Чернова Н.И., Киселева С.В., Кумар В. // Альтернативная энергетика и экология, 2018, 22-24 23–33.
4. García-González M 2003 J. Appl. Phycol. 15 177–84.
5. Asmare A M 2013 Int. J. Ren. Energ. Res. 3 (3) 260–70.
6. Sudhakar K 2012 Energy Sources A 34 1114–20.
7. Milbrandt A Resource Evaluation and Site Selection for Microalgae Production in India / A. Milbrandt, E. Jarvis. - USA, Colorado, National Renewable Energy Laboratory, 2010. - 79 p.
8. Brusca S. 2017 Int. J. Appl. Eng. Res. 12 (24) 16058–67.
9. Чернова Н.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., Власкин М.С. // Альтернативная энергетика и экология, 2019, 22–27 30–41.
10. Кучкарова М.А. Водоросли рисовых полей р. Чирчик. – Ташкент: Фан, 1974. – 287 с.
11. Бердыкулов Х.А. Фотосинтез микроводорослей, культивируемых под открытым небом. – Ташкент: Фан, 1979. – С. 11-15.

12. Abdullaev A A, Kamolov B Sh, Rakhimbaev B. Potobiotechnology of galotolerant microalgae as sources of β -Karotene Znter Seminar // Proshrrcts for Saline agriculture. – Islamabad (Pakistan), 2000. 46 p.
13. Урмыч Е.М., Бердыкулов Х.А., Эшпулатова М.Б. Альгология. 2008 18(3) 347–52.
14. Урмыч Е.М. Оптимизация фотосинтетической продуктивности светоустойчивых штаммов микроводорослей: Автореф. дис. ... к.б.н. – Ташкент, 1999. – 23 с.
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mininnovation.uz/ru/arak/the-construction-of-a-pilot-mini-plantation-to-test-the-technology-for-the-production-of-biomass-of-microalgae-dunaliella-salina-and-cysts-of-artemia-microracks>– (Дата обращения: 01.04.2021).
16. Агентство МФСА по реализации проектов МФСА в Узбекистане.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arak.uz/wp/new-projects/>– (Дата обращения: 01.04.2021.).
17. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (Дата обращения: 13.04.2021).
18. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Выпуск 19, части 1-6. Узбекская ССР. Книга 1 - Л.: Гидрометеиздат. - 1989. – С. 90-95.
19. Экологический атлас Узбекистана [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/multimedia/field/Tashkent/pdf/atlasUzbekistana.pdf>– (Дата обращения: 10.04.2021).
20. Музафаров А.М., Таубаев Т.Т. Массовое культивирование хлореллы и ее использование в животноводстве. - Ташкент: Фан, 1968. -160 с.
21. Боровков А.Б., Гудвилович И.Н. // Вопросы современной альгологии 2017 1(13). [Электронный ресурс]. URL: <http://algology.ru/1155> (Дата обращения 10.04.2021).
22. Vlaskin M S, Chernova N I, Kiseleva S V, Dombrovsky L A A new procedure of hydrothermal liquefaction of microalgae after different thermochemical pre-treatments. Proceedings of the 16th International Heat Transfer Conference, IHTC-16, August 10–15, 2018, Beijing, China. IHTC16-22357; pp. 1–7.
23. Quinn J C and etc. 2013 BioEnergy Res. 6(2) pp. 591–600.

*Представлено Московским
государственным университетом*

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Н.Р. Авезова, Р.Р. Авезов, А.У. Вохидов, Э.У. Рахимов, М.А. Куралов,
А.Э. Хаитмухамедов

Ясси куёший сув иситиш коллекторларининг атроф-муҳитга иссиқлик йўқотишлари уларнинг нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панелларининг ўртача иш ҳарорати ва атроф-муҳитнинг ҳарорати фарқига боғлиқ. Ушбу ишда ясси куёший сув иситиш коллекторлари фронтал юза бирлигига келтирилган умумий иссиқлик йўқотиш коэффициенти ($K_{\text{кел.иш-ат}}^{\Sigma}$) қийматининг ўртача иш ҳароратига (\bar{t}_p), атроф-муҳит ҳароратига (t_o), ҳаво намлигига (ϕ_o), нурланиш қобилиятига (ε_p), шамол тезлигига (ϑ) ва нур ютувчи иссиқлик алмашиниш панели ва шаффоф қоплама орасидаги ёпиқ ҳаво қатлами қалинлигига ($\delta_{\text{хк}p-q_1}$) боғлиқ ҳолда аниқлаш бўйича ҳисобий тадқиқот натижалари келтирилган.

Тепловые потери плоских солнечных водонагревательных коллекторов в окружающую среду зависят от разности среднерабочей температуры их лучепоглощающей теплообменной панели и температуры окружающей среды. В данной работе приведены результаты расчетных исследований по определению значения приведенного к единице фронтальной поверхности корпуса плоских солнечных водонагревательных коллекторов суммарного коэффициента тепловых потерь ($K_{\text{нр}p-o}^{\Sigma}$), в зависимости от среднерабочей температуры (\bar{t}_p), температуры окружающей среды (t_o), влажности воздуха (ϕ_o), степени излучательной способности (ε_p), скорости ветра (ϑ) и толщины замкнутой воздушной прослойки ($\delta_{\text{вн}p-c_1}$), заключенной между лучепоглощающей панелью и светопрозрачным покрытием.

The thermal losses of flat-plate solar water heating collectors to the environment depend on the difference between the average operating temperature of their light-absorbing heat exchange panel and the temperature of the environment. This manuscript presents the results of computational studies to determine the value of the total heat loss coefficient reduced to the

unit of the frontal surface of the housing of flat-plate solar water heating collectors ($K_{red\ w-amb}^{\Sigma}$), depending on the average operating temperature (\bar{t}_w), ambient temperature (t_o), air humidity (ϕ_o), emissivity (ε_p), wind speed (\mathcal{G}), and the thickness of the closed air layer ($\delta_{al\ p-wl}$) enclosed between the light-absorbing panel and the translucent coating.

На сегодняшний день одной из актуальных задач мировой энергетики и энергетики Узбекистан является изыскание нетрадиционных и возобновляемых источников энергии с целью вовлечения их в общий топливно - энергетически баланс. В связи с этим, среди всех видов энергий энергия солнечного излучения является одним из перспективных источников нетрадиционной и возобновляемой энергетики [1-6].

Наиболее подготовленной сферой для широкомасштабного использования энергии солнечного излучения является преобразование солнечной энергии в низкопотенциальное тепло, которое имеет огромный потенциал при пользовании в солнечных и солнечно-топливных системах горячего водоснабжения. Основным элементом солнечных и солнечно-топливных систем горячего водоснабжения является плоский солнечный водонагревательный коллектор (ПСВК), с помощью которого происходят процессы улавливания, поглощения, преобразования в тепло энергии солнечного излучения и передачи последнего к теплоносителю, циркулирующему в теплоотводящих каналах (ТОК), для потребления в системах теплоснабжения [7-14].

ПСВК состоит из корпуса, покрытого со внутренней стороны теплоизоляцией, вложенного в него лучепоглощающей теплообменной панели (ЛПТП) (абсорбера) и покрытого сверху светопрозрачным покрытием (СП) для создания замкнутой воздушной прослойки (ЗВП) между абсорбером и СП (рис. 1).

Одной из основных задач теплового расчета ПСВК является определение суммарного коэффициента тепловых потерь в окружающую среду (ОС) ($K_{np\ p-o}^{\Sigma}$) и среднерабочей температуры поверхности их ЛПТП (\bar{t}_p).

Значение $K_{np\ p-o}^{\Sigma}$ в зависимости от коэффициентов тепловых потерь СП ($K_{c\ p-o}$), дна ($K_{dn\ p-o}$) и боковых стенок ($K_{bc\ p-o}$) корпуса ПСВК, согласно [15, 16], определяется из выражения:

$$K_{np\ p-o}^{\Sigma} = aK_{c\ p-o} + bK_{dn\ p-o} + cK_{bc\ p-o}, \quad \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C}); \quad (1)$$

где $a = \frac{F_c}{F_{\phi p}}$, $b = \frac{F_{\text{дн}}}{F_{\phi p}}$, $c = \frac{F_{\text{бс}}}{F_{\phi p}}$ - соответственно, отношения площадей теплообменных поверхностей СП (F_c), дна ($F_{\text{дн}}$) и боковых стенок ($F_{\text{бс}}$) к площади фронтальной поверхности корпуса ПСВК ($F_{\phi p}$).

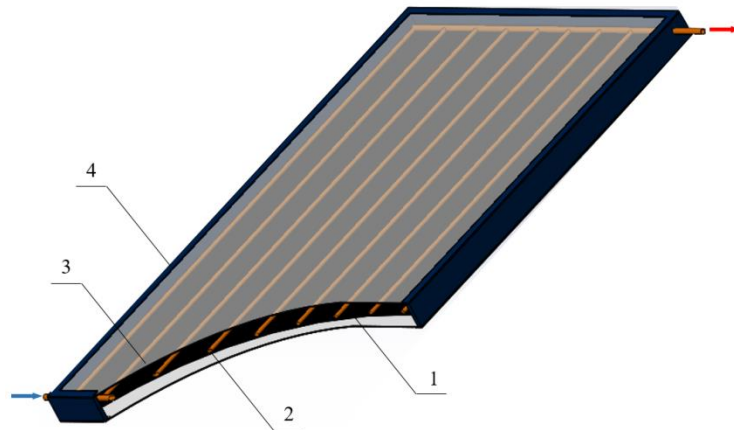


Рис.1. Общий вид плоского солнечного водонагревательного коллектора:
1-лучепоглощающая теплообменная панель; 2- теплоотводящие каналы;
3-светопрозрачное покрытие; 4-корпус

Одним из возможных путей повышения эффективности ПСВК является уменьшение приведенного коэффициента тепловых потерь в ОС ($K_{np\,p-o}$) с учетом влияния среднерабочей температуры (\bar{t}_p), температуры окружающей среды (t_o), влажности воздуха (φ_o), степени излучательной способности (ε_p), скорости ветра (ϑ) и толщины ЗВП ($\delta_{\text{звп-с1}}$), заключенной между ЛПТП и СП.

Следует отметить, что значение $K_{c\,p-o}$ в (1) является преобладающим составляющим значения $K_{np\,p-o}^{\Sigma}$, на долю которого приходится 75-80% значения в ПСВК с однослойными СП корпуса с обычными черными покрытиями на поверхности ЛПТП и 60-65% - селективными лучепоглощающими покрытиями.

На основе обобщения результатов численных экспериментов по определению значения $K_{c\,p-o}$ в [17] представлены следующие аппроксимационные аналитические зависимости:

- для диапазона $0,1 \leq \varepsilon_p \leq 0,25$;

$$K_{c_{p-o}} = 1,9414 + 0,0047 \bar{t}_p - 0,013 t_o - 1,2521 \varphi_o + 4,5188 \varepsilon_p + \\ + 0,055 \vartheta + (196,7005 - 5479,4246 \delta_{\text{вн}p-c1}) \delta_{\text{вн}p-c1}, Bm / M^2 \cdot ^\circ C; \quad (2)$$

- для диапазона $0,80 \leq \varepsilon_p \leq 0,95$:

$$K_{c_{p-o}} = 3,4315 - 0,0128 \bar{t}_p + 0,0208 t_o - 1,7715 \varphi_o + 2,6752 \varepsilon_p + \\ + 0,1671 \vartheta + (88,89 - 2208,9397 \delta_{\text{вн}p-c1}) \delta_{\text{вн}p-c1}, Bm / M^2 \cdot ^\circ C \quad (3)$$

При значениях $a = 0,93$ и $bK_{\text{дн}p-o} + cK_{\text{бс}p-o} = 1,5925 Bm / (M^2 \cdot ^\circ C)$ [16] выражение (1) с учетом значения $K_{c_{p-o}}$, аппроксимационные формулы (2) и (3) могут быть представлены в виде:

$$K_{np_{p-o}} = 3,3980 + 0,0044 \bar{t}_p - 0,012 t_o - 0,1645 \varphi_o + 4,2025 \varepsilon_p + \\ + 0,0512 \vartheta + (182,9315 + 5096,8649 \delta_{\text{вн}p-c1}) \delta_{\text{вн}p-c1}, Bm / (M^2 \cdot ^\circ C); \quad (4)$$

$$K_{np_{p-o}} = 4,7838 + 0,0119 \bar{t}_p + 0,0193 t_o - 1,6475 \varphi_o + 2,4879 \varepsilon_p + \\ + 0,1554 \vartheta + (82,6677 - 2054,3139 \delta_{\text{вн}p-c1}) \delta_{\text{вн}p-c1}, Bm / (M^2 \cdot ^\circ C) \quad (5)$$

В целях упрощения процедуры расчетов по установлению выражения для определения \bar{t}_p вводим следующие обозначения:

$$A_1 = 3,3980 - 0,1645 \varphi_o + 4,2025 \varepsilon_p + 0,0512 \vartheta + \\ + (182,9315 + 5096,8649 \delta_{\text{вн}p-c1}) \delta_{\text{вн}p-c1}, Bm / (M^2 \cdot ^\circ C) \quad (6)$$

и

$$A_2 = 4,7838 - 1,6475 \varphi_o + 2,4879 \varepsilon_p + 0,1554 \vartheta + \\ + (82,6677 - 2054,3139 \delta_{\text{вн}p-c1}) \delta_{\text{вн}p-c1}, Bm / (M^2 \cdot ^\circ C). \quad (7)$$

Подставляя (6) в (4) и (7) в (5) получим:

$$K_{np_{p-o}} = A_1 + 0,0044 \bar{t}_p - 0,012 t_o, Bm / (M^2 \cdot ^\circ C); \quad (8)$$

$$K_{np_{p-o}} = A_2 + 0,0119 \bar{t}_p + 0,0193 t_o, Bm / (M^2 \cdot ^\circ C). \quad (9)$$

Мгновенная теплопроводность ПСВК определяется из выражения [18, 19]:

$$q_{\text{пол}} = q_{\text{ног}lp} - K_{np_{p-o}} (\bar{t}_p - t_o). \quad (10)$$

Подставив выражения из (8) и (9) в (10), получим:

$$(A_1 + 0,0044 \bar{t}_p - 0,012 t_o) (\bar{t}_p - t_o) = q_{\text{ног}lp} - q_{\text{пол}}; \quad (11)$$

$$(A_2 + 0,0119 \bar{t}_p + 0,0193 t_o) (\bar{t}_p - t_o) = q_{\text{ног}lp} - q_{\text{пол}}; \quad (12)$$

откуда

$$0,0044\bar{t}_p^2 + (A - 0,0165t_o)\bar{t}_p - (A_1 - 0,012t_o)t_o + q_{пол} - q_{нозл_p} = 0; \quad (13)$$

$$0,0119\bar{t}_p^2 + (A_2 - 0,0074t_o)\bar{t}_p - (A_2 + 0,0193t_o)t_o - q_{пол} - q_{нозл_p} = 0. \quad (14)$$

Решая квадратные уравнения (13) и (14) и принимая положительные значения \bar{t}_p имеем:

- для диапазона $0,1 \leq \varepsilon_p \leq 0,25$:

$$\bar{t}_p = \left\{ (1,875\alpha_o - 113,6364A_1)^2 + 227,2727[q_{нозл_p}^\Sigma - q_{пол} + (A_1 - 0,012t_o)t_o] \right\}^{0,5} + 1,875\alpha_o - 113,6364A_1, \quad ^\circ C; \quad (15)$$

- для диапазона $0,80 \leq \varepsilon_p \leq 0,95$:

$$\bar{t}_p = \left\{ (42,0168A_2 + 0,3109t_o)^2 + 84,0336[q_{нозл_p}^\Sigma - q_{пол} + (A_2 - 0,0193t_o)t_o] \right\}^{0,5} - 42,0168A_2 - 0,3109t_o, \quad ^\circ C. \quad (16)$$

Далее приведем численный пример расчета \bar{t}_p и на его основе $K_{np_{p-o}}$ для диапазонов $0,1 \leq \varepsilon_p \leq 0,25$ и $0,80 \leq \varepsilon_p \leq 0,95$. По данным измерений краткосрочных тепловых тестов ПСВК в натуральных условиях при $t_o = 30^\circ C$; $\varphi_o = 0,4$; $\mathcal{G} = 3,0 M / c$, а также по данным теплотехнических и оптических измерений в лабораторных условиях при $q_{нозл_p}^\Sigma = 600 Bt / m^2$; $q_{пол} = 400 Bt / m^2$; $\varepsilon_p = 0,15$; $\delta_{вп-ч} = 0,015 M$ значения A_1 и A_2 по (6) и (7) составляют, соответственно, $5,7136 Bt / (m^2 ^\circ C)$ и $7,6079 Bt / (m^2 ^\circ C)$. Подставляя значение A_1 в выражение (15) и A_2 в выражение (16), получаем значения \bar{t}_p равные $65,4694^\circ C$ и $52,6915^\circ C$, соответственно. При этом величины $K_{np_{p-o}}$, определяемые по выражениям (8) и (9), составляют $5,6387 Bt / (m^2 ^\circ C)$ и $8,8139 Bt / (m^2 ^\circ C)$.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых поколений высокоэффективных лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных водонагревательных коллекторов для систем горячего водоснабжения, а также будут полезны при проведении предпроектных и проектных расчетов систем теплоснабжения проектировщиками, инженерами отраслей.

Литература

1. W. Weiss and M. Spörk-Dür. Solar Heat Worldwide: Global Market Development and Trends in 2018. Detailed Market Figures 2017. 2019 Edition.

- [Онлайн]. <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2019.pdf>. [Доступна: с июня 2019 года].
2. B. Sorensen, Renewable energy. Physics, engineering, environmental impacts, economics and planning. Elsevier, 2017, 1030 p.
 3. S.A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications", Elsevier B. V. Progress in Energy and Combustion Science, vol. 30, no. 3, pp. 231-295, 2004.
 4. S.A. Kalogirou, Solar Energy Engineering, Elsevier, 2009, 850 p.
 5. В.А. Бутузов, В.В. Бутузов. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии: Справочно-методическое издание/ Под редакцией П.П. Безруких. – М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2015. – 304 с.
 6. S.A. Klein. The effects of Thermal Capacitance Upon the Performance of Flat-Plate Solar Collectors, Master Thesis. University of Wisconsin, 1973.
 7. S.K. Amrutkar, S. Ghodke, K.N. Patil, Solar Flat Plate Collector Analysis, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Vol. 2012. 2, №2, pp.207-213.
 8. E. Ogbonnaya, L. Weiss Small-Scale Flat Plate Collectors for Solar Thermal Scavenging in Low Conductivity Environments, Hindawi International Journal of Photoenergy, Vol. 2017, pp. 1-9. [Онлайн]. Доступная ссылка: <https://doi.org/10.1155/2017/7956879>. [Доступна: с августа 2017 года].
 9. A. Ciocănea, D.L. Buretea, The influence of flow tube vibrations over the efficiency of solar water heating collectors, Energy Procedia, 2017. Vol. 112, pp. 330 – 335.
 10. И.В. Митина. Повышение эффективности солнечных коллекторов с вакуумированными стеклопакетами. Автореф. дис. канд. тех. наук. М.: 2009, - 26 с.
 11. A. Buonomano, C. Forzano, S.A. Kalogirou, A. Palombo. Building-façade integrated solar thermal collectors: Energy-economic performance and indoor comfort simulation model of a water based prototype for heating, cooling, and DHW production, Renewable Energy, 2018, p. 17.
 12. Р.Р. Авезов, Н.Р. Авезова Э.Ю. Рахимов. Тепловая модель плоского солнечного водонагревательного коллектора, // Альтернативная энергетика и экология, 2018. том 23, № 24. - С. 12-20,
 13. M. Khoukhi, S. Maruyama Theoretical approach of a flat-plate solar collector taking into account the absorption and emission within glass cover layer, 2006. Solar Energy, Vol. 80, №7, pp. 787–794.
 14. N. Wang, Sh. Zeng, M. Zhou, et.al., Numerical study of flat plate solar collector with novel heat collecting components, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2015. Vol. 69, pp. 18–22.

15. Р.Р. Авезов, А.Ю. Орлов. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения . – Ташкент: ФАН. 1988, -288 с.

16. Н.Р. Авезова, Моделирование процессов теплового преобразования солнечной энергии в плоских коллекторах и оптимизация их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения. /Автореф. дис. докт. тех. наук, Ташкент: 2018, - 68 с.

17. Р.Р. Авезов, А.У. Вохидов, Э.Ю. Рахимов, М.А. Куралов. Моделирование процессов тепловых потерь в окружающую среду плоских солнечных водонагревательных коллекторов через светопрозрачные покрытия их корпусов // Международный журнал «Гелиотехника». 2019. – Т. 55, № 4. – С. 343-353.

18. N.R. Avezova, R.R. Avezov, A.U. Vokhidov, E.Yu. Rakhimov, U.Kh. Gaziev. Influence of Ambient Temperature, Wind Speed, Emissivity, and Average Working Temperature of Light-Absorbing Heat-Exchange Panels of Flat-Plate Solar Water-Heating Collectors on Their Thermal Losses Through Translucent Coatings, Appl. Sol. Energy, 2019. Vol. 55, No. 1, pp. 30–35.

19. Duffie J.A., Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes. New Jersey: John Wiley&Son, Inc., 2013, p. 888.

*Представлено Физика-техническим
институтом АН РУз*

УДК 628.884

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОПРИЕМНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Д.У. Абдухамидов, А.У. Вохидов, К.Ю. Рашидов, А.Ю. Усманов

Қуёш коллекторларининг асосий ютувчи элементлари бўлган иссиқлик қабул қилувчи панелларининг конструкциялари ҳамда Ўзбекистон Республикаси маҳаллий хом-ашёлари асосида ишлаб чиқаришни таъминлаш этили мақсадида қуёш коллекторларининг иссиқлик қабул қилувчи панелларининг янги конструкциялари кўриб чиқилди, ўрганилди ва ишлаб чиқилди. Бунда асосан иссиқлик қабул қилувчи панелларнинг иссиқлик олиб кетувчи каналларини ривожлантириш мақсад қилиб қўйилиб силлиқ лист – қувурли панеллар ўрнига бурама каналли ва накаткаланиб ҳалқалар кўринишида каналларга ишлов берилиб панелларни ички сирти ривожлантирилиб иссиқлик алмашишни юзалари ортирилди ва панелларни янада самарали ишлаши таъминланди. Бунинг учун бир неча турдаги силлиқ иссиқлик олиб кетувчи каналларга эга бўлган лист-қувурли панеллар кўриб чиқилди, ўрганилди ва камчиликлари аниқланди. Камчиликларни бартараф этили мақсадида янги турдаги ясси иссиқлик қабул қилувчи панелларнинг конструкциялари ишлаб чиқилди. Шунингдек қувурлар аро масофалар, қувурнинг диаметри, панелнинг (листнинг) қалинлиги, иссиқлик олиб кетувчи қувур деворининг қалинлиги, тайёрланаётган панелнинг материали оптималлаштирилди ва нисбатан олганда анча енгил, кам хариж панелларнинг конструкциялари ишлаб чиқилди. Шу қаторда иссиқлик қабул қилувчи панелларнинг иссиқлик алмашишни юзасини ортириш мақсадида лист-қувурли панелни модернизациялаб кассетали туридаги иссиқлик олиб кетувчи канали эллипссимон бўлган ясси панел ишлаб чиқилди. Конструкциянинг осон егилишини таъминлаш мақсадида маҳсус қулфли элементлари инобатга олинди ва конструкцияга киритилди. Панелларни кам серияли ишлаб чиқариш мақсадида қуёш коллекторлари учун иссиқлик қабул қилувчи панелларни тайёрлаш усули ишлаб чиқилди, бунда панелларнинг массаси ортиб кетмаслигини эътиборга олиниб кенг тарқалган ва ишлов беришга қулай бўлган материаллардан танланиб олинди ва самарали ишлашини таъминлаш мақсадида селектив қопламани панелни сиртига ётқизиш усули панелни тайёрлашда инобатга олинди. Иссиқлик қабул қилувчи панелларнинг миним массага эга бўлишида ва максимал иссиқлик унумдорлик кўрсаткичларини таъминлашда нур ютувчи пластинанинг иссиқлик самарадорлик коэффициентини ҳисоблаб келтириб чиқарилди. Бу эса панелни минимал массада максимал самарадорликка эга бўлганида ва

нисбатан арзон маҳсулотларни ишлаб чиқаришда шунингдек ҳисоб ишларини олиб боришда асосий омиллардан бири бўлиб ҳисобланади.

В Республике Узбекистан производства в целях организации, на основе отечественного сырья, лучепоглощающих панелей, являющихся основными абсорбирующими элементами солнечных коллекторов, были рассмотрены, изучены и разработаны новые конструкции теплоотводящих панелей солнечных коллекторов. В основном работа направлена на разработку теплоотводящих каналов, теплоприемных панелей, где вместо гладких теплоотводящих каналов были изготовлены каналы в виде витых внутренних каналов и накатанных колец. Таким образом была разработана внутренняя поверхность теплоотводящих трубок панелей, увеличены теплообменные поверхности и обеспечена более эффективная работа панелей. Для этого были рассмотрены, изучены и выявлены недостатки некоторых типов листотрубных панелей с гладкими теплопроводящими каналами. С целью устранения недостатков в конструкциях был разработан новый тип плоских теплоотводящих панелей, в которых расстояния между трубами, диаметры труб, толщина панели (листа), толщина стенки теплопроводящей трубы, материал изготавливаемой панели, были оптимизированы и, в конечном итоге, были разработаны гораздо более легкие, менее дорогие конструкции панелей. Наряду с этим, с целью увеличения теплообменной поверхности теплоприемных панелей, была модернизирована листотрубная панель и разработана плоская панель, в которой теплопроводящий канал кассетного типа был эллипсоидным. Для обеспечения легкой сборки конструкции были учтены и введены в конструкцию специальные фиксирующие устройства в виде замковых элементов. Для малосерийного производства панелей был разработан способ их изготовления с учетом того, что масса панелей не увеличивается, и для изготовления панели выбирается один из доступных материалов, удобный в обработке. Разработан также способ нанесения селективного покрытия на поверхность теплоприемной панели. Был рассчитан коэффициент тепловой эффективности лучепоглощающей пластины, где теплоглощающие панели имеют минимальную массу и обеспечивают максимальные показатели тепловых характеристик. Это является одним из главных факторов при производстве относительно недорогой продукции, которая будет иметь максимальную эффективность при минимальной массе панели.

In order to organize the production of radiation-absorbing panels based on domestic raw materials in the Republic of Uzbekistan, which are the main absorbing elements of solar collectors, new designs of heat-dissipating solar collector panels were considered, studied and developed. Here, the work is mainly focused on the development of heat-removing channels of heat-

receiving panels, where instead of smooth heat-removing channels of sheet-tube panels, the channels were made in the form of twisted internal channels and knurled rings, where the inner surface of the heat-removing pipes of the panels was developed, the heat-exchange surfaces were increased and more efficient operation of the panels was provided. For this purpose, the disadvantages of several types of sheet-tube panels with smooth heat-conducting channels were considered, studied and identified. In order to eliminate these shortcomings in the design, a new type of flat heat sink panels was developed. Also, the distances between the pipes, the diameter of the pipe, the thickness of the panel (sheet), the wall thickness of the heat-conducting pipe, the material of the manufactured panel were optimized and, in comparison with them, much lighter, less expensive panel designs were developed. Along with this, in order to increase the heat exchange surface of the heat receiving panels, the sheet-tube panel was modernized and a flat panel was developed, in which the heat-conducting channel of the cassette type was ellipsoidal. To ensure easy assembly of the structure, special locking elements in the form of locking elements were taken into account and introduced into the design. For the purpose of small-scale production of panels, a method for manufacturing panels for solar collectors was developed, taking into account the fact that the weight of the panels does not increase, and for the manufacture of the panel, one of the available materials is selected, which is easy to process, and also the method of applying a selective coating to the surface of the heat receiving panel is taken into account. The coefficient of thermal efficiency of the radiation-absorbing plate was calculated and given, where the heat-absorbing panels have a minimum mass and at the same time provide the maximum indicators of thermal characteristics. And this is one of the main factors in the production of relatively inexpensive products that will have maximum efficiency with a minimum panel weight, as well as when performing computational work.

Введение. Одной из перспективных сфер практического применения солнечной энергии, которая имеет наибольшую степень технологической готовности в нашей республике, является ее преобразование с помощью плоских солнечных коллекторов в низкопотенциальное тепло и использование последнего в качестве источника тепла в системах горячего водоснабжения жилых, коммунально-бытовых и социальных объектов [1]. Основным элементом плоских солнечных коллекторов, в котором происходит поглощение и преобразование энергии солнечного излучения в тепло и передача последнего к нагреваемой среде, является лучепоглощающая теплообменная панель. Существующие в мировом производстве плоские солнечные коллектора в основном отличаются по конструкции, технологии и материалу изготовления. В связи с этим, анализ основных конструктивных решений плоского солнечного коллектора сводится к

анализу конструктивных решений их лучепоглощающей теплообменной панели [2-4].

Основными задачами этой статьи являются:

1) выявление солнечных коллекторов с высокоэффективными ПТП, которые обладают максимальным теплосъемом при минимальных гидравлических сопротивлениях теплоотводящих каналов;

2) рассмотрение и разработка новых конструкций плоских теплоприемных панелей, создание малометаллоемких плоских теплоприемных панелей (ПТП), имеющих относительно простую конструкцию, которая эффективно работает и обладает максимально повышенным теплосъемом лучистой энергии при уменьшенных гидравлических сопротивлениях теплоотводящего канала;

3) оптимизация межтрубного расстояния теплоприемника и решение проблем максимальной теплопроизводительности теплоприемника при его минимальной массе;

4) создание и изготовление теплоприемных панелей с развитыми внутренними теплоотводящими каналами. Разработка новых способов изготовления теплоприемных панелей.

Методы. В методике расчета теплоприемных панелей основным теплотехническим параметром плоского солнечного водонагревательного коллектора, показывающим степень энергетического совершенства, и влияющий на тепловую эффективность, является коэффициент тепловой эффективности теплоприемной панели плоского солнечного коллектора, характеризующий эффективность переноса тепла от элементов теплообменной панели к теплоносителю, циркулирующему в ее теплоотводящих каналах [4, 11].

В мировой практике в области разработки и создания новых, высокоэффективных и малометаллоемких поколений солнечных водонагревателей для нагрева жидкого теплоносителя, одной из главных задач является поиск путей обеспечения максимальной теплопроизводительности их лучепоглощающих теплообменных панелей (ЛПТП) при их минимальной массе. Для определения отношения удельной теплопроизводительности ПСК ($q_{пол}$) к удельной массе ЛПТП ($m_{тп}^{уд}$) предложено выражение [4]:

$$\frac{q_{пол}}{m_{тп}^{уд}} = \frac{(2a_{лп}\eta_{лп} + d_{нар})\pi d_{вн} \bar{\alpha}_{квн} \left[q_{позлп}^{\Sigma} - K_{нпп-о}(\bar{t}_{fl} - t_o) \right]}{\left[(2a_{лп}\eta_{лп} + d_{нар})K_{нпп-о} + \pi d_{вн} \bar{\alpha}_{квн} \right] \left[2a_{лп}\eta_{лп}\rho_{лп} + 0,25\pi(d_{нар}^2 - d_{вн}^2) \right] \rho_{мк}}; \quad (1)$$

где:

$$\eta_{лп} = th \left(a_{лп} \sqrt{\frac{K_{нпп-о}}{(\delta\lambda)_{лп}}} \right) / a_{лп} \sqrt{\frac{K_{нпп-о}}{(\delta\lambda)_{лп}}} \quad (2)$$

– коэффициент тепловой эффективности лучепоглощающей пластины (ЛПП) листотрубной ЛПТП; $\alpha_{\text{лп}}$, $\delta_{\text{лп}}$ и $\lambda_{\text{лп}}$ – соответственно, половина ширины, толщина и коэффициент теплопроводности материала изготовления ЛПП; $d_{\text{вн}}$, $d_{\text{нар}}$ – соответственно, внутренний и наружный диаметры ТОК ЛПТП; $\bar{\alpha}_{\text{к.вн}}$ – среднее значение коэффициента конвективной теплоотдачи внутренней поверхности стенки ТОК; $\rho_{\text{лп}}$ и $\rho_{\text{тк}}$ – соответственно, плотности материалов изготовления ЛПП и ТОК.

С целью выявления солнечных коллекторов с высокоэффективными ПТП, которые обладают максимальным теплосъемом при минимальных гидравлических сопротивлениях теплоотводящих каналов, а также являющихся малометаллоемкими при изготовлении, и имеющими относительно простую конструкцию при сборке и разборке, нами рассмотрены плоские теплоприемные панели (ПТП) листотрубной конструкции из следующих работ [2, 5, 6, 7].

Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора (рис.1) [2], представляющая собой зачерненную металлическую пластину с полуканавками, на которые уложены и закреплены с помощью струбцин, хомутов или пайки ряд параллельных труб, соединенных между собой общими подводными и отводящими гидравлическими каналами, обеспечивающими равномерное распределение потока теплоносителя по теплоотводящим каналам. Достоинством является то, что оптимизированы показатели теплоприемной панели, которыми являются межтрубное расстояние, толщина стенок, ширина и длина листа, диаметр трубки [12]. Основными недостатками данной конструкции теплоприемной панели является трудоемкость разборки и сборки составляющих частей и ее изготовление. При этом панель металлоемкая и имеет худшие контактные показатели между трубкой и тепловоспринимающим листом, а также теплоотводящий канал гладкий, неразвитой, ведущий к недостаточно эффективному теплосъему лучистой энергии.

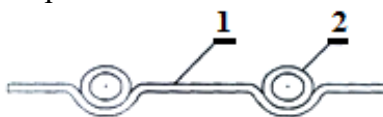


Рис.1. Конструкция листотрубной лучепоглощающей теплообменной панели плоского солнечного водонагревательного коллектора состоит из: зачерненной металлической пластины с полуканавками – 1; теплоотводящих каналов (трубки) –2, [2]

Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора (рис.2) [2], цельно изготовленная из коррозионностойкого алюминиевого сплава методом экструзии. Достоинством является то, что оптимизированы

показатели теплоприемной панели, которыми являются межтрубное расстояние, толщина стенок, ширина и длина листа, диаметр трубки [12]. Основной недостаток данной конструкции теплоприемной панели состоит в том, что теплоотводящий канал гладкий, неразвитый, ведущий к недостаточно эффективному теплосъему лучистой энергии; лучевоспринимающая поверхность панели также гладкая, ведущая к большему отражению солнечного излучения.

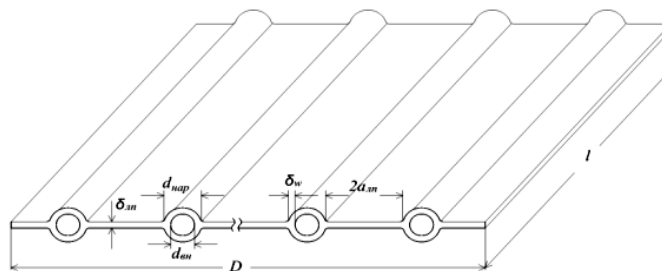


Рис.2. Схема листотрубной ЛПТП ПСК для нагрева ЖТН, изготовленной методом экструзии: D и L – ширина и длина ЛПТП; $2a_m$ и δ_m – соответственно, межтрубное расстояние ЛПТП и толщина ЛПП (ребра); $d_{нар}$, $d_{вн}$ и δ_w – соответственно, наружный, внутренний диаметры и толщина стенки ТОК [2]

Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора (рис.3) [5], выполнена из теплоприемных листов и трубки для теплоносителя, изготовлена в виде цельного профиля и соединена замками в одной плоскости, а также выполнена с селективным покрытием из оксида алюминия, наносимого методом электрохимического анодирования. Теплоприемная панель требуемых размеров собирается последовательным присоединением пластин друг к другу посредством расположенных на краях замков. Пластина цельно изготавливается с замками на краях и трубкой в середине по известной технологии – литье под давлением. Основным недостатком данной конструкции теплоприемной панели состоит в том, что теплоотводящий канал гладкий, неразвитый, ведущий к недостаточно эффективному теплосъему лучистой энергии.

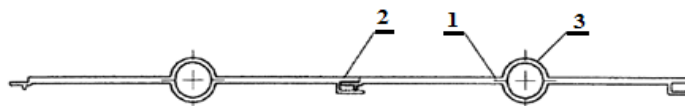


Рис.3. Конструкция листотрубной теплоприемной панели гелиоколлектора с замковыми элементами, состоит из: теплоприемных листов – 1; теплоотводящих каналов (трубки) – 3; замковых элементов (замка) – 2 [5]

Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора (рис.4) [6], выполнена из тепловоспринимающего листа с рифленой поверхностью и с селективным покрытием из оксида алюминия, наносимого методом электрохимического анодирования, где теплоприемных листы и трубка для теплоносителя изготовлена в виде цельного профиля, а толщина тепловоспринимающего листа выполнена переменной с утолщением к трубке для теплоносителя. Пластина цельно изготавливается с трубкой в середине по известной технологии – литье под давлением, где разогретый материал (алюминий) продавливается через матрицу. Основным недостатком данной конструкции теплоприемной панели состоит в том, что теплоотводящий канал гладкий, – неразвитой, ведущий к недостаточно эффективному теплосъему лучистой энергии, панель металлоемкая.

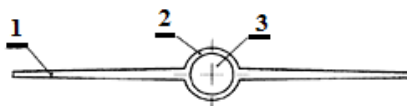


Рис.4. Конструкция листотрубной теплоприемной панели гелиоколлектора состоит из: теплоприемного листа изготовленного с утолщением к трубке – 1; теплоотводящего канала (трубки) – 2; теплоносителя - 3, [6]

Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора (рис.5) [7], выполнена из тепловоспринимающего листа покрытого с селективным покрытием из оксида алюминия, наносимого методом электрохимического анодирования, цельно изготовленный из одного материала вместе трубкой для теплоносителя. Пластина цельно изготавливается с трубкой в середине по известной технологии – литье под давлением, где разогретый материал (алюминий) продавливается через матрицу. Основным недостатком данной конструкции теплоприемной панели состоит в том, что теплоотводящий канал гладкий, неразвитой, ведущий к недостаточно эффективному теплосъему лучистой энергии.

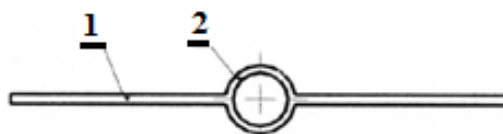


Рис.5. Конструкция листотрубной теплоприемной панели гелиоколлектора состоит из: теплоприемного листа цельно изготовленного с трубкой – 1; теплоотводящего канала (трубки) – 2 [7]

В Физико-техническом институте АН РУз за последние три года под руководством проф. Авезова Р.Р. были разработаны новые конструкции плоских теплоприемных панелей. Основной задачей было создание ма-

лометаллоемких плоских теплоприемных панелей (ПТП), имеющих относительно простую конструкцию, которые эффективно работают и обладают максимально повышенным теплосъемом лучистой энергии при уменьшенных гидравлических сопротивлениях теплоотводящего канала [8,9, 10, 14].

С этой целью разработана плоская лучепоглощающая теплообменная панель, выполненная с селективным покрытием из оксида алюминия (рис.6) [8], наносимым методом электрохимического анодирования. Панель, включает в свою конструкцию теплоприемные листы и гидравлические каналы для теплоносителя, и изготовлена в виде цельного профиля и с двух сторон имеющая шиповые и пазовые замковые выступы, которые можно соединить замком в одной плоскости для солнечного водонагревательного коллектора. Лучепоглощающая плоская теплообменная панель имеет рифленую поверхность и изготовлена в виде кассеты (коробки) содержащей теплоотводящие гидравлические каналы, выполненные в форме удлинённых эллипсов, равномерно размещённых по поперечному сечению лучепоглощающего теплоприемного листа, проходящих по ее длине, образуя большую площадь теплообмена. Плоские теплообменные панели собираются между собой последовательным присоединением друг к другу посредством замков типа «шип-паз», образуя при этом плоскую лучепоглощающую теплообменную поверхность солнечного водонагревательного коллектора. Модернизированная плоская лучепоглощающая теплообменная панель изготовленная в виде кассет, имеет следующие преимущества: относительно простую конструкцию, а также удобство при разборке и сборке панелей, высокую эффективность теплосъема, панель обладает большой теплообменной поверхностью, относительно низкую себестоимость. Плоская лучепоглощающая теплообменная изготовленная методом экструзии, получается цельной без сварочных, запаянных швов, обеспечивая относительно высокую прочность конструкции.

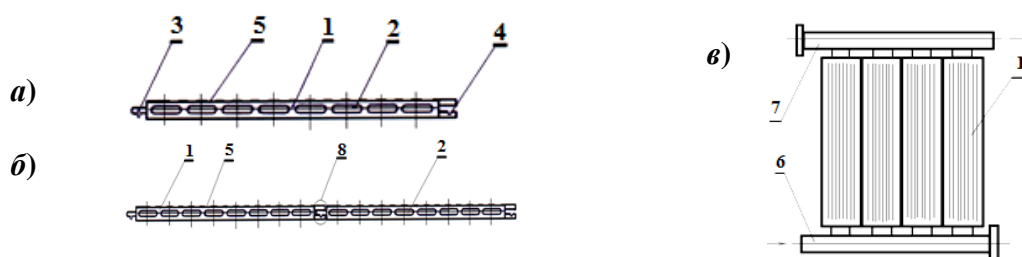


Рис.6. Поперечное сечение теплоприемной панели (а),сборка теплоприемных панелей в одной плоскости (б) и общий вид плоской теплоприемной панели гелиоколлектора (в), где: модернизированная плоская теплоприемная панель состоит из: 1– плоской лучепоглощающей теплообменной панели кассетного типа; 2 – теплоотводящих гидравлических каналов выполненных в форме удлинённых эллипсов, равномерно распо-

ложенных по всему поперечному сечению плоской лучепоглощающей теплообменной панели; 3 – шиповой части замка; 4 – пазовой части замка; 5 – рифленой поверхности панели; 6 – подводящего коллектора; 7 – отводящего коллектора; 8 – замка «шип-паз»[8]

Разработана листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора (рис.7) [9], состоящая из витой трубки для теплоносителя и соединенных с ней продольно с двух сторон теплоприемных листов, где внутренняя поверхность трубки выполнена витой. При этом теплоприемные листы выполнены с рифленой поверхностью и селективным покрытием из оксида алюминия, наносимого методом электрохимического анодирования. Данная конструкция даёт возможность максимально повысить эффективность теплосъема с плоской поверхности панели гелиоколлектора за счет увеличения местных пристеночных скоростей и общей перестройки течения жидкости, а также за счет того, что в поперечном сечении трубки происходит перетекание жидкости от периферии к центру в результате действия градиента давления. Тем самым теплообмен равномерно распределяется на всех слоях и зонах жидкости, где обеспечивается максимальный и эффективный теплосъем. Плоская теплоприемная панель с витым теплоотводящим каналом в предлагаемой конструкции имеет следующие преимущества: простоту конструкции, высокую эффективность теплосъема, относительно низкую себестоимость, неметаллоемкая при изготовлении.

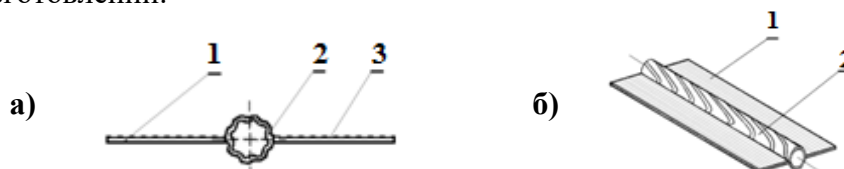


Рис.7. Плоская теплоприемная панель гелиоколлектора с витым теплоотводящим каналом(а), общий вид теплоприемной панели(б). Плоская теплоприемная панель гелиоколлектора с витым теплоотводящим каналом выполнена из листового алюминиевого сплава и витой трубки из меди, латуни или нержавеющей стали, изготовленная присоединением трубки из меди, латуни или нержавеющей стали к рифленому листу из алюминиевого сплава сварочным швом или пайкой, где: 1 – рифленая теплоприемная панель с селективным покрытием; 2 – витая трубка; 3 – рифленая поверхность панели[9]

Разработана листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора (рис.8) [10], состоящая из трубки для теплоносителя и соединенных с ней продольно с двух сторон теплоприемных листов, где внутренняя поверхность трубки выполнена накаткой в виде колец, при этом теплоприемные

листы выполнены с рифленой поверхностью и селективным покрытием из оксида алюминия, наносимого методом электрохимического анодирования. Данная конструкция даёт возможность максимально повысить эффективность теплосъёма с плоской поверхности панели гелиоколлектора за счёт прохождения теплоносителя по накатанной трубке, и поглощению тепла панелью, когда начинают срабатывать процессы турбулизации. Плоская теплоприёмная панель, с накатанным теплоотводящим каналом в предлагаемой конструкции, имеет следующие преимущества: развитую теплообменную поверхность теплоотводящего канала, высокую эффективность теплосъёма, относительно низкую себестоимость, неметаллоемкая при изготовлении.

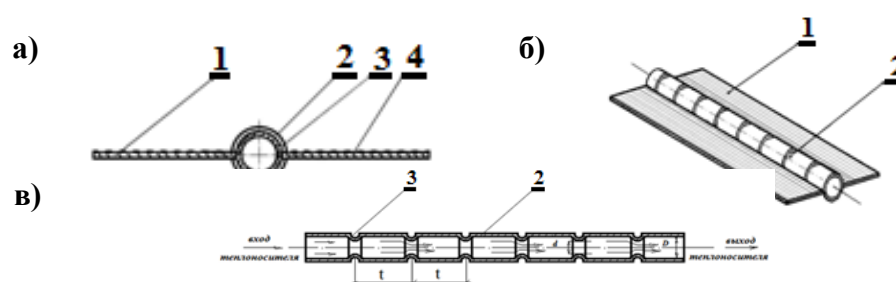


Рис.8. Плоская теплоприёмная панель гелиоколлектора с накатанным теплоотводящим каналом(а), общий вид теплоприёмной панели(б), разрез трубки(в), где: плоская теплоприёмная панель гелиоколлектора выполнена из листового алюминиевого сплава с накатанным теплоотводящим каналом, изготовленная присоединением трубки из меди, латуни или нержавеющей стали к рифленому листу из алюминиевого сплава сварочным швом или пайкой, где: 1 – рифленая теплоприёмная панель с селективным покрытием; 2 – накатанная трубка; 3- выполненная накатка на трубке; 4 – рифленая поверхность панели [10]

Также разработан способ изготовления теплоприёмной панели для гелиоколлектора, где теплоприёмный элемент с теплоотводящими каналами для теплоносителя и расположенными на краях замками, изготавливают из одного материала (алюминия) в виде цельного профиля путем продавливания разогретого материала с температурой до 500 °С через формообразующую матрицу с усилием от 100 до 2000 тонн. Выходную щель формообразующей матрицы выполняют с возможностью образования рифленой поверхности теплоприёмного элемента и перекрывают стержнями-выступами с поперечным сечением в форме удлиненного эллипса с образованием теплоприёмного элемента в виде кассеты коробчатой формы с теплоотводящими каналами в форме удлиненных эллипсов в поперечном сечении. Затем на теплоприёмный элемент методом электрохимического анодирования наносят селективное покрытие из

оксида алюминия и собирают теплоприемную панель в одной плоскости последователь присоединении теплоприемных элементов друг к другу посредством замков [14].

При конструировании листотрубных теплоприемников солнечных водонагревателей особо важно оптимизировать межтрубное расстояние теплоприемника [12], т.е. решить проблемы максимальной теплопроизводительности теплоприемника при его минимальной массе [13].

Разработанный метод комплексной оптимизации межтрубного расстояния листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов, обеспечивающий максимальную производительность при минимальной массе их лучепоглощающих теплообменных панелей, внедрен на предприятии ООО «MIR SOLAR». Внедрение результатов исследований в производстве теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов позволило экономить 0,4015 кг с 1 м² площади их поверхности [4].

Категории металлоемкости теплоприемных панелей, которые устанавливаются исходя из массы использованного материала на 1 м² готовой изготовленной панели, с учетом использованного материала (алюминий, нержавеющая сталь, медь и т.п.), где: 1) теплоприемные панели с использованием материала в пределах 5-7 кг в 1 м² относятся к металлоемким; 2) теплоприемные панели с использованием материала до 3,5 кг на 1 м² готового изделия – к малометаллоемким.

В табл. 1 приведена сравнительная оценка конструкций теплоприемных панелей (ПТП) различных конструкций.

Таблица 1

Сравнительная оценка конструкций теплоприемных панелей

№	Наименование панели (вид панели)	Металло- емкость Теплопри- ем- ной панели на 1 м ² (кг)	Тепло- отводя- щий канал (ТОК)	Материал изготовлен- ной панели
1.	ЛТП из зачерненной металличе- ской пластины с полуканавками [2]	более 7,0	гладкий	Нержавею – щая сталь
2.	ЛТП цельно изготовленная из коррозионностойкого алюми- ни- евого сплава[2]	3,5-4,5	гладкий	Алюминий
3.	ЛТП с замковыми элементами цельно изготовленная из алю- миния по технологии – литье под давлением [5]	3,5-4,5	гладкий	Алюминий
4.	ЛТП цельно изготовленная с утолщением к трубке из алю- миния по технологии – литье	3,5-4,5	гладкий	Алюминий

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

	под давлением [6]			
5.	ЛТП с цельно изготовленная из алюминия по технологии – литье под давлением [7]	до 3,5	гладкий	Алюминий
6.	Модернизированная теплоприемная панель с замковыми элементами цельно изготовленная из алюминиевого профиля методом экструзии [8]	3,5-4,5	гладкий	Алюминий
7.	ЛТП с витым теплоотводящим каналом [9]	до 3,5	Развитой	Панель – алюминиевая, трубка - медная
8.	ЛТП с накатанным теплоотводящим каналом в виде колец [10]	до 3,5	Развитой	Панель – алюминиевая, трубка - медная

Результаты. Были разработаны и получены малометаллоемкие высокоэффективные теплоприемные панели листотрубной конструкции для солнечных водонагревательных коллекторов с развитыми внутренними теплоотводящими каналами, обладающими высокими теплосъемными показателями. Также разработан способ изготовления теплоприемных панелей для солнечных водонагревательных коллекторов.

Обсуждение. Целесообразным будет изготовление малометаллоемких высокоэффективных теплоприемных панелей для солнечных водонагревательных коллекторов, где для этой цели, вместо гладких теплоотводящих каналов, будем применять теплоотводящие каналы с развитыми внутренними поверхностями, которые повышают тепловую эффективность работы коллектора в целом.

Выводы. Таким образом из и вышеизложенного можно подчеркнуть следующее:

- как видно из табл.1, за счет конструкции теплоприемных панелей, где вместо гладких теплоотводящих каналов (ТОК) будут применяться теплоотводящие каналы с развитыми теплообменными внутренними поверхностями, с использованием витых теплоотводящих трубок или накатанных турбулизирующих теплоотводящих трубок, можно добиться высоких показателей теплосъема гелиоколлектора в целом;

- селективные покрытия, играющие немаловажную роль в изготовлении теплоприемных панелей, обеспечивают высокую эффективность работы гелиоколлекторов, повышая их КПД до 10-12%;

- оптимально сконструированная теплоприемная панель при минимальной массе её изготовления становится неметаллоемкой, относи-

тельно дешевой при изготовлении и высокоэффективной, в целом, и обеспечивает удобство при сборке и разборке теплоприемных элементов водонагревательного коллектора;

- на основе новых разработок, усовершенствованные в современной гелиотехнике энергосберегающие конструкции дают возможность получать тепловую энергию без ущерба окружающей среде, а также обеспечивают дополнительной солнечной тепловой энергией жилые здания;

- разработка высокоэффективных теплоприемных панелей, обладающих высокой поглотительной способностью лучистой энергии, при их минимальной массе изготовления из местного сырья (алюминия), дают возможность частным предпринимателям и государственным производственным предприятиям осуществление малосерийного производства отечественных, относительно дешевых и надежных теплоприемных панелей в Республике Узбекистан.

Литература

1. Авезов Р.Р., Лутпуллаев С.Л. Состояние, перспективы и проблемы использования возобновляемых источников энергии в Узбекистане. /Конференция посвященная году Физики-2005. г. Ташкент, 27-28 сентября 2005 года. – С. 119 – 123.

2. Авезова Н.Р. Комплексная оптимизация параметров листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов для нагрева жидкого теплоносителя // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2011., - №1. –С. 8 - 15.

3. Бутузов В.А. Самодренируемые гелиоустановки: мировой и российский опыт разработки и сооружения / В.А. Бутузов, В.В. Бутузов, Е.В. Брянцева, И.С. Гнатюк // СОК.- 2017. - №2. – С. 53-57.

4. Авезова Н.Р. Моделирование процессов теплового преобразования солнечной энергии в плоских коллекторах и оптимизация их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения, Ташкент. 2018. – С. 37.

5. Патент KZ №1584 F24J 2/00 (2006.01) от 29.07.2016 г., Байсеитов Д.М., Тыныштыкбаев К.Б. Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора.

6. Патент KZ №1583F24J 2/00 (2006.01) от 29.07.2016 г., Байсеитов Д.М., Тыныштыкбаев К.Б. Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора.

7. Патент KZ №1610F24J 2/00 (2006.01) от 15.08.2016 г., Байсеитов Д.М., Тыныштыкбаев К.Б. Способ изготовления листотрубной теплоприемной панели гелиоколлектора.

8. Патент UZ №FAP 01490F24S10/75 (2018.01) от 17.03.2020 г., Авезов Р.Р., Рашидов Ю.К., Рашидов К.Ю. Плоская лучепоглощающая теплообменная панель.

9. Патент UZ № FAP 01472 F24S10/75 (2018.01) от 15.01.2020 г., Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Рашидов Ю.К., Абдухамидов Д.У., Рашидов К.Ю. Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора.

10. Патент UZ № FAP 01563 F24S10/75 (2018.01) от 28.11.2020 г., Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Рашидов Ю.К., Абдухамидов Д.У., Самиев К.А., Рашидов К.Ю. Листотрубная теплоприемная панель гелиоколлектора.

11. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. Издательство «Фан», - Ташкент -1988., - С. 65-66.

12. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувоҳнома № DGU 02506 от 04.06.2012. «Математическая модель для комплексной оптимизации межтрубного расстояния и расхода теплоносителя через теплоотводящие каналы листотрубных лучепоглощающих теплообменных панелей плоских солнечных коллекторов для нагрева жидких теплоносителей». Авторы: Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Касимов Ф.Ш., Самиев К.А., Ахатов Ж.С. // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. № 7 (135). 2012. – 150 с.

13. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ: Гувоҳнома № DGU 03822 от 27.05.2016. «Математическая модель для определения теплопроизводительности плоских солнечных водонагревательных коллекторов при наперед заданной температуре получаемой из них горячей воды». Авторы: Авезов Р.Р., Авезова Н.Р. // Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. № 7 (183). 2016. –154 с.

14. Патент UZ № FAP 01504 F24S10/75 (2018.01) от 29.05.2020 г., Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Рашидов Ю.К., Абдухамидов Д.У., Рашидов К.Ю. Способ изготовления теплоприемной панели гелиоколлектора.

*Представлено Физико-техническим институтом
Академии наук Республики Узбекистан*

УДК 620.97

**ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ МИКРОЧАСТИЦ ПЫЛИ,
СКАПЛИВАЮЩЕЙСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ****О.Ф. Тукфатуллин, Р.А. Муминов, И.А. Рахматуллаев,
О.М. Турсункулов, К.А. Джумамуратов**

Ушбу ишда Тошкент шаҳар чегарасида жойлашган фотоэлектрик модули ҳимоя шишаси сиртида тўпланган чанг ва кирнинг сканерли электрон микроскоп усуллари орқали морфологиясини ўрганиш тадқиқот натижалари келтирилган. Ноорганик компоненталар заррачалар ўлчамлари 2 мкм дан 75 мкм гача, органик компоненталар ўлчамлари миллиметрнинг ўнлик улушларидан бир неча миллиметргача ташиқил этишлари тадқиқотлар натижасида кўрсатилган. Ноорганик чанг ҳар хил шаклдаги заррачалардан иборатлиги ва органик ташиқил этувчиси ўйиқлар ва микропорали толали структура шакллarga эгаллиги аниқланган.

В данной работе методами сканирующей электронной микроскопии проведены исследования морфологии пыли и грязи, скапливающейся на поверхности защитного стекла фотоэлектрического модуля, расположенного в черте города Ташкента. Показано, что размеры частиц неорганической компоненты варьируются от 2 мкм до 75 мкм, а для органической компоненты характерны размеры от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Установлено, что неорганическая пыль состоит из частиц с разной формой, а для органической характерна волокнистая структура с углублениями и микропорами.

In this work, scanning electron microscopy and X-ray energy dispersive analysis methods were used to study the morphology and composition of dust and dirt that accumulates on the protective glass surface of the photovoltaic module. These modules are located in the local Tashkent area. It is shown here that the sizes of the inorganic particles varied from 2 μm to 75 μm , while the organic particles are up to several millimeters in size. The inorganic dust component consists of particles with different shapes, while the organic dust is characterized by a fibrous structure in which holes and micropores were found.

В настоящее время одной из основных тенденций в гелиоэнергетике является повсеместное, независимо от условий эксплуатации, использование достижений полупроводниковых фотоэлектрических техно-

логий [1]. Широкое распространение данных технологий во многом определяется надёжностью и простотой в эксплуатации фотоэлектрических модулей (ФЭМ) и фотоэлектрических систем (ФЭС), построенных на их основе [2].

К одному из существенных факторов, влияющих на производительность ФЭМ и, как следствие, ФЭС, следует отнести пыль и грязь, которые скапливаются на фронтальной поверхности ФЭМ. По природе происхождения пыль и грязь можно разделить на неорганическую (минеральную, металлическую), органическую (растительную, животную, искусственную) и смешанную пыль [3]. Очевидно, что природа происхождения пыли и грязи не столь однозначна даже для одной конкретной местности и она может быть как антропогенного, так и природного характера [4]. Однако, независимо от природы происхождения, однозначным является то, что пыль и грязь оказывают негативное влияние на выходные параметры и характеристики ФЭМ. В одном случае осаждённый на поверхности ФЭМ слой образует неоднородную по толщине и составу плёнку с неудовлетворительными для эффективной работы ФЭМ оптическими свойствами [5]. В другом случае, осаждённая плёнка косвенно влияет на эффективность работы ФЭМ, т.к. её наличие, в зависимости от состава и распределения по поверхности, может в большей или меньшей степени приводить к нагреву солнечных элементов (СЭ) [6].

Одна из пионерских работ, в которой была впервые затронута проблема воздействия пыли на энергетические характеристики солнечных установок датируется 1942 годом [7]. Однако рассмотрение воздействия пыли применительно к ФЭМ берёт начало с момента презентации результатов в 1979 году [8], в которых было экспериментально доказано, что именно пыль, скапливающаяся на поверхности ФЭМ, приводит к ощутимому ухудшению выходных характеристик. Следует отметить, что значительная часть объём работ принадлежит авторам, проводящим экспериментальные исследования в регионах, для которых наличие пыли является характерным фактором. Среди последних хотелось бы выделить работу, посвящённую обзору причин возникновения пыли, факторов, влияющих на осаждение пыли и механизмов адгезии пылевых частиц на поверхностях ФЭМ [9].

Все эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости изучения влияния пыли и грязи, осаждаемой на фотоактивные поверхности ФЭМ, чтобы оценить степень их воздействия на эффективность и надёжность работы ФЭС.

В настоящей работе ставилась задача проведения морфологического анализа состава пыли и грязи, скапливающейся на поверхности защитного стекла ФЭМ расположенного в черте города Ташкента в период с 30.07.2019 г. по 30.09.2019 г., и, тем самым, предложить рекомендации относительно дальнейшего подхода к решению проблемы предотвраще-

ния загрязнения и решению проблемы эффективной очистки поверхности применительно к конкретному месту эксплуатации ФЭС.

Образцы пыли были собраны с фронтальной поверхности ФЭМ мощностью 100 Вт. ФЭМ расположен на территории НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана им. Мирзо Улугбека (Ташкент). ФЭМ установлен на телескопической мачте, позволяющей изменять не только положение по высоте, но и угол относительно плоскости горизонта. ФЭМ фронтальной поверхностью ориентирован на юг ($\pm 2^\circ$) и имеет угол наклона к горизонту — 60° . Высота мачты — 3 м. Размеры площади, с которой были собраны образцы, соответствуют размерам фронтальной поверхности ФЭМ без обрамления и равны 1180×520 мм.

На рис. 1, а представлена фотография ФЭМ до испытаний, очищенная от всех видов пыли и загрязнений (30.07.2019). На рис. 1, б показан ФЭМ в момент сбора образцов пыли (30.09.2019). Изображения ФЭМ представленные на рис. 1 позволяют визуально оценить, насколько сильно пыль и грязь могут оказывать воздействие на светопропускание защитного стекла.

Сбор образцов пыли и грязи осуществлялся механическим способом, суть которого заключалась в последовательном соскабливании осевших частиц скребком с толщиной металлического лезвия 100 мкм и длиной 43 мм. Образцы после каждого прохода лезвием сверху вниз, параллельно короткой стороне ФЭМ, собирались в стеклянную чашку Петри, которая после завершения сбора запечатывалась в воздухонепроницаемый пакет до момента подготовки образца к структурному и элементному анализу.

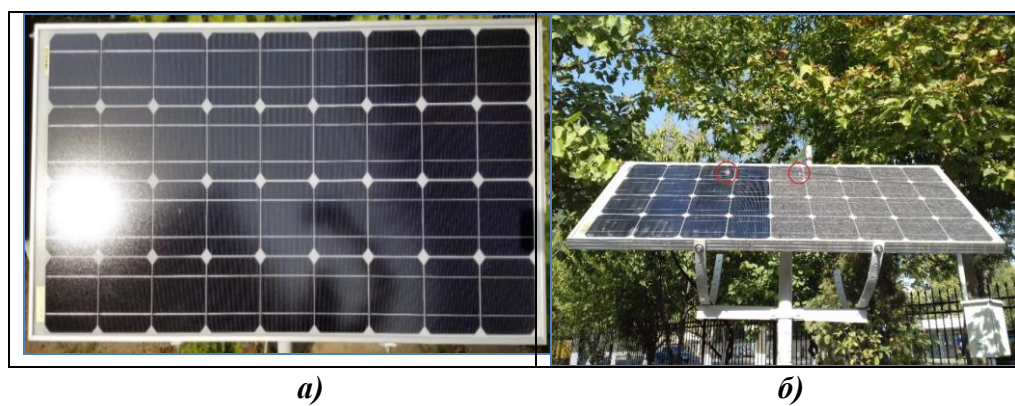


Рис.1. Фотоэлектрический модуль, расположенный на территории НИИ института физики полупроводников и микроэлектроники ($41,35^\circ$ С.Ш., $69,25^\circ$ В.Д.):
а) в начале наблюдений (30.07.2019); б) в конце наблюдений (30.09.2019)

Перед сбором образцов пыли и грязи проводился визуальный осмотр на предмет наличия помёта птиц. Поскольку данный вид загрязнения присутствовал на фотоактивной поверхности ФЭМ (на рис. 1, б данный вид загрязнений выделен красным контуром), данный вид загрязнений собирался отдельно. Таким образом собранные образцы были поделены на пыль и грязь неорганического и органического происхождения.

Структурный анализ включал в себя исследование микроструктуры полученных образцов пыли и грязи неорганического и органического происхождения посредством сканирующего электронного микроскопа Zeiss EVO MA10 (Германия).

Процесс пробоподготовки для исследования на сканирующем электронном микроскопе проводился следующим образом. На предметный столик микроскопа устанавливался металлический держатель, поверхность которого приклеена алюминиевая фольга с двухсторонней клейкой поверхностью. На эту фольгу наносились исследуемые образцы, после чего предметный столик устанавливался в рабочую камеру микроскопа, из которой откачивался воздух для создания вакуума. Для проведения измерения на филамент подавалось напряжение 15 кВ. При этом рабочее расстояние составляло 8,5 мм. Изображения были получены в масштабе 20 и 100 мкм с помощью программного обеспечения SmartSEM.

Полученные методом растровой электронной микроскопии фотографии (в масштабе нескольких десятков и сотен микрон) частиц пыли и грязи неорганического и органического происхождения, скопившихся в течении двух месяцев (с 30.07.2019 по 30.09.2019) на фронтальной поверхности ФЭМ автономной фотоэлектрической системы освещения представлены на рис. 2.

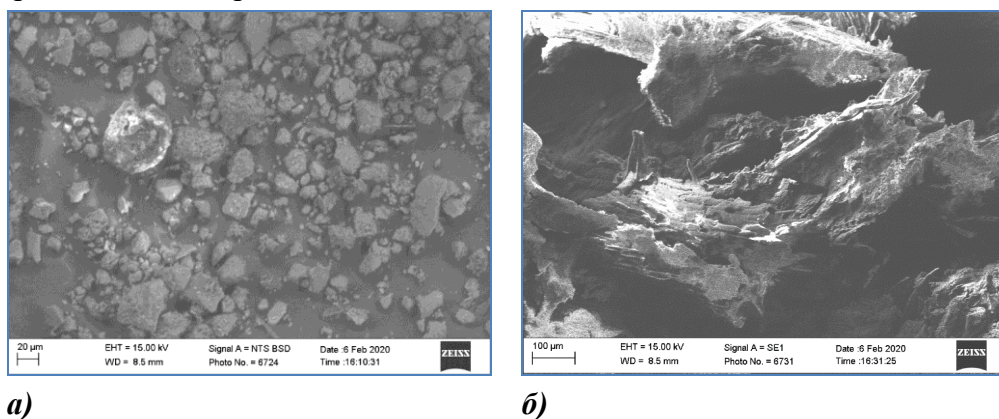


Рис. 2. Снимки частиц пыли и грязи неорганического (*a*) и органического (*б*) происхождения, скопившейся в течении периода наблюдений

Качественный анализ полученных снимков позволяет заключить, что частицы неорганического и органического происхождения имеют

отличную друг от друга морфологию. Частицы неорганического происхождения представляют собой мелкодисперсные частицы различного размера и формы. При этом наблюдаются крупные агломерации из нескольких микрочастиц.

Для образца органического происхождения характерна структура близкая к волокнистой, с многочисленными микропорами. Так как измерения проводились в режиме детектирования отражёнными (обратно-рассеянными) электронами, то светлые участки поверхности представляют собой органические компоненты волокон, а более тёмные участки содержат компоненты неорганического происхождения.

На рис. 3 представлена диаграмма распределения частиц неорганического происхождения по размерам. Для частиц пыли неорганического происхождения характерны продольные размеры в пределах от 2 мкм до 75 мкм. Основная доля частиц (более 95%) приходится на частицы размером до 30 мкм. Более 55% частиц в данном образце имеет размеры менее 10 мкм, большая часть из которых имеет размеры 2, 4, 5 и 7 мкм. Присутствие большой доли последних частиц на поверхности ФЭМ может свидетельствовать о том, что, несмотря на некоторую долю частиц, перешедших в более крупные фракции при окислении и соединении их с газами (в основном SO_2 , NO_x , NH_3 и некоторыми летучими органическими соединениями), именно частицы размером до 10 мкм оказывают существенное воздействие на оптические свойства фотоактивной поверхности модуля. Следует отметить, что наблюдение за частицами пыли имеющими небольшие размеры, особенно теми, что приводят к высоким концентрациям PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$, необходимо осуществлять непрерывно, поскольку именно они оказывают максимально негативное воздействие на здоровье человека [10].

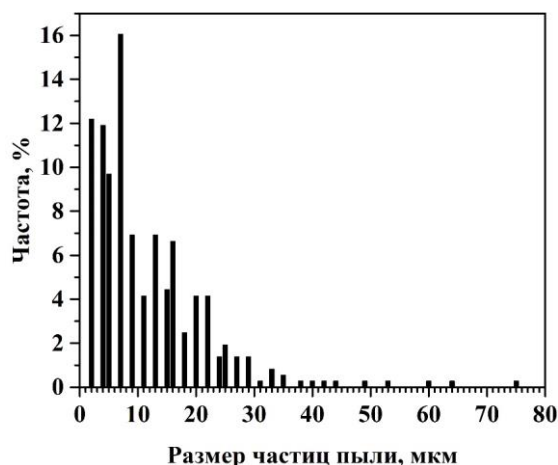


Рис. 3. Распределение продольных размеров частиц пыли неорганического происхождения

Таким образом, поиск методов предотвращения пылевых и грязевых скоплений на поверхности ФЭМ, а также методов очистки загрязнений, следует вести с учётом того, что именно для частиц с продольными раз-

мерами до 30 мкм необходимо искать способы ухудшения их адгезивных свойств.

Относительно частиц пыли, состоящей из частиц размером менее 62 мкм можно предположить, что они могли сформироваться на территории пустынь, а затем переместиться на расстояние до и более 20000 км [11]. Согласно представлениям о формировании частиц пыли пустынного происхождения, их формирование происходит в несколько этапов [12]. В начале сильные ветры вынуждают частицы диаметром около 100 – 200 мкм двигаться по баллистическим траекториям вблизи поверхности [13]. При ударах этих частиц о поверхность почвы происходит их разрушение и переход в более мелкие фракции. Эти более мелкие частицы (<50 мкм) могут переноситься на большие расстояния [14]. Таким образом, можно предположить, что большая часть частиц может формироваться из частиц, зародившихся над территорией Приаральского региона. Возможно, что формирование практически непрозрачного слоя на фронтальной поверхности ФЭМ связано с сильным ветром (18–23 м/с) наблюдавшимся в Каракалпакстане в период проведения эксперимента [15].

Для частиц органического происхождения размеры колеблются от нескольких сотен микрон до нескольких миллиметров. Итог механической очистки фронтальной поверхности ФЭМ показал неудовлетворительный результат (рис. 1, б), особенно хорошо заметен след от птичьего помёта (на рис. 1, б данный вид загрязнений выделен красным контуром), который полностью удалось удалить только после мокрой чистки. Последнее обстоятельство свидетельствует об относительно высокой степени адгезии птичьего помёта к стеклянной поверхности по сравнению с осевшими пылевыми частицами неорганического происхождения.

Таким образом, проведённые исследования по определению морфологических особенностей пыли и грязи, скапливающейся на поверхности защитного стекла ФЭМ позволяют сделать следующий вывод: поиск методов предотвращения пылевых и грязевых скоплений на поверхности ФЭМ, а также методов очистки от данных загрязнений, следует вести с учётом того, что именно для частиц с продольными размерами до 30 мкм необходимо искать способы ухудшения их адгезивных свойств.

Работа проведена в рамках инициативного исследования, соответствующего тематике Лаборатории гелиофизики и альтернативных источников энергии Научно-исследовательского института физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Литература

1. Jäger-Waldau, A. PV Status Report 2019 / A. Jäger-Waldau – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. – 79 p.

2. Проектирование фотоэлектрических систем: учебно-методическое пособие / сост. А.А. Бутько и др. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 294 с.
3. Жилов, Ю.Д. Справочник по медицине труда и экологии / Ю.Д. Жилов, Г.И. Кущенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1995. – 172 с.
4. Federico Karagulian. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level / Federico Karagulian [et al.] // *Atmospheric Environment*. – 2015. – V. 120. – pp. 475–483.
5. Zorrilla-Casanova, J. Analysis of dust losses in photovoltaic modules / Zorrilla-Casanova J. // Published in: *World Renewable Energy Congress 2011* – Sweden (8–13 May 2011, Linköping, Sweden) / Zorrilla-Casanova J. [et al.] – Linköping, 2011. – 8 p.
6. Yunlin Sun. Investigating the Impact of Shading Effect on the Characteristics of a Large-Scale Grid-Connected PV Power Plant in Northwest China [Электронный ресурс] / Yunlin Sun [et al.] // *International Journal of Photovoltaic Energy*. – 2014. – V. 2014. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2014/763106>. – (Дата обращения: 24.02.2021).
7. Hottel, H. Performance of Flat Plate Solar Heat Collectors / H. Hottel, B. Woertz // *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*. – 1942. – V. 64. – pp. 91–104.
8. Nimmo, B. Effects of dust on the performance of thermal and photovoltaic flat plate collectors in Saudi Arabia: Preliminary results / B. Nimmo // Published in: *Proceedings of the "Second Miami International Conference on Alternative Energy Sources"* (10–13 December 1979, Miami Beach, FL, USA) / B. Nimmo, S.A.M. Seid – Washington, D.C., 1981. – pp. 145–152.
9. Bergin, M.H. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution / M.H. Bergin [et al.] // *Environmental Science & Technology Letters*. – 2017. – V. 4. – pp. 339–344.
10. The European Environment. State and Outlook 2010. Air Pollution / Martin Adams, Anke Lükewille. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. – 42 p.
11. Grousset, F.E. Case study of a Chinese dust plume reaching the French Alps / F.E. Grousset [et al.] // *Geophysical Research Letters*. – V. 30. – No. 6. – 1277.
12. Marticorena, B. Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme / B. Marticorena, G. Bergametti // *J. Geophys. Res.* – V. 100. – No. 16. – pp. 415–416.
13. Alfaro, S.C. Mineral aerosol production by wind erosion: aerosol particle sizes and binding energies / S.C. Alfaro, A. Gaudichet, L. Gomes, M. Maillé // *Geophysical Research Letters*. – 1998. – V. 25. – No. 7. – pp. 991–994.

14. Prospero, J.M. Saharan Dust Transport Over the North Atlantic Ocean and Mediterranean: An Overview / J.M. Prospero // S. Guerzoni, R. Chester R. (eds). The Impact of Desert Dust Across the Mediterranean. Environmental Science and Technology Library – Miami, FL, 1996. – V. 11. – pp. 133–151.

15. Сильный ветер в Каракалпакстане сорвал крыши зданий [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://www.gazeta.uz/ru/2019/06/15/storm/>. – Газета.uz. – (Дата обращения: 26.02.2021).

*Представлено Научно-исследовательским
институтом физики полупроводников и
микроэлектроники Национального университета
Узбекистана имени Мирзо Улугбека*

УДК 620.91.

**РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАК ОДНО
ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ УКРЕПЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

О.А. Любчик, Т.Г. Зорина

Мақолада Беларусь Республикасида қайта тикланувчи энергетиканинг ривожланиши ва энергия хавфсизлиги ўртасидаги боғлиқлик ўрганилган. Қайта тикланадиган энергиянинг ҳолати келтирилган, шунингдек, MESSAGE дастури ёрдамида Беларусь Республикасининг 2030 йилгача қайта тикланувчи энергия манбалари иштирокида энергия ишлаб чиқариш тузилмаси моделлаштирилган.

В статье исследована взаимосвязь между развитием возобновляемой энергетики и энергетической безопасностью Республики Беларусь. Дана характеристика состояния возобновляемой энергетики, а также смоделирована структура энергопроизводства Республики Беларусь до 2030 г. с участием возобновляемых источников энергии при помощи программы MESSAGE.

The article examines the relationship between renewable energy development and energy security of the Republic of Belarus. The characteristic of the state of renewable energy is given, as well as the structure of energy production of the Republic of Belarus until 2030 with renewable energy sources involvement is modeled using the MESSAGE program.

Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь является основополагающим документом, регламентирующим цели и пути развития энергетического комплекса страны. Результатом реализации отмеченных в ней планов должны стать обеспечение состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения [1].

Энергетическая безопасность тесно связана с развитием возобновляемых источников энергии. Так одним из принципов энергетической безопасности является максимальное использование местных энергоресурсов и повышение энергетической самостоятельности; а среди национальных интересов отмечаются экономически обоснованное вовлечение местных видов топлива и, прежде всего возобновляемых источников энергии, а также диверсификация видов и поставщиков топливно-энергетических ресурсов.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Таблица 1
Состояние индикаторов энергетической безопасности Республики Беларусь

Индикатор	Пороговые уровни		Значения индикаторов по годам ¹									
	Н	К	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035
Энергетическая самостоятельность												
1. Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР, %	30	16	14,7	14,2	14,7	15,4	15,5	16,3	16	17	18	20
			К	К	К	К	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК
2. Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников к валовому потреблению ТЭР, %	14	5	5,0	5,6	5,7	6,2	6,2	6,7	6	7	8	9
			К	К	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК
Диверсификация поставщиков и видов энергоресурсов												
3. Доля доминирующего поставщика энергоресурсов в общем импорте ТЭР, %	65	85	96	90	>99	>99	>99	>99	85	80	75	70
			К	К	К	К	К	К	К	ПК	ПК	ПК
4. Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %	50	70	64	60	61	61	60,9	61,8	57	55	52	50
			ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	Н
Надежность поставок, резервирование, переработка и распределение ТЭР												
5. Отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме (резервирование), %	140	95	127	160	175	176	169	169	160	155	150	145
			ПК	ПК	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
6. Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК, %	45	75	48	46	44	46	-	58,7**	43	<45	<45	<45
			ПК	ПК	Н	ПК	-	ПК	Н	Н	Н	Н
7. Отношение объема инвестиций в основной капитал, вложенных в развитие ТЭК, к первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК, %	6	4	7,3	7	7	7	7	7	7	6,5	6,5	6,5
			Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
8. Доля доминирующего энергоресурса (газа) в производстве тепловой и электрической энергии, %	50	80	91,4	90	97	>90	>90	98	70	60	50	< 50
			К	К	К	К	К	К	ПК	ПК	Н	Н
9. Отношение среднесуточного количества нарушений электроснабжения населенных пунктов за год к общему количеству населенных пунктов, %	0,5	2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
			Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
Энергетическая эффективность конечного потребления ТЭР и экономическая устойчивость ТЭК Беларуси												
10. Энергоемкость ВВП (в ценах 2005 г.), кг у.т./млн. руб.	160	485	424	370	375	376	381	288,7**	370	353	317	268
			ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК
11. Отношение стоимости импорта энергетических товаров к ВВП, %	15	30	21,7	20,0	15,4	15,1	16,3	15,4	19	18	17	15
			ПК	ПК	Н	Н	ПК	ПК	ПК	ПК	ПК	Н

Примечания:

* - в период с 2010 по 2019 годы представлены фактические значения индикаторов, далее обозначен план в соответствии с [1];

** - индикатор рассчитан с учетом поступивших данных для предприятий концерна «Белнефтехим»;

*** - в текущих ценах по итогам 2019 г. (кг у.т./тыс. руб.), подлежит пересчету в ценах 2005 г. после уточнения данных по ВВП страны

Состояние энергетической безопасности оценивается одиннадцатью индикаторами, которые сгруппированы в блоки. Перечень индикаторов, их фактические и целевые значения представлены в табл 1 [1, 2, 3].

Среди наиболее перспективных для использования в Республике Беларусь возобновляемых источников энергии можно отметить древесную биомассу, биогаз, энергии водных потоков, солнца и ветра.

Покрытая лесом территория Республики Беларусь, по состоянию на 2020 год, составляет 9696,8 тыс. га, лесистость достигла 40,1% [4, 5]. Общий запас насаждений оценивается в 1834,3 млн. м³. Леса представлены на 54% сосной, на 19 % березой, на 11% елью, 8% занимает ольха. Ежегодный прирост древесины за последние 10 лет колеблется в пределах 28-32 млн. м³. За 2019 год, по информации Министерства лесного хозяйства, из всех видов рубок заготовлено 27,0 млн. м³ ликвидной древесины.

В качестве древесного топлива в стране наибольшее применение нашли дрова, щепа и пеллеты. Топливная щепа и пеллеты (топливные гранулы) производятся из отходов, образующихся в результате лесозаготовок, лесопильного и деревообрабатывающего производства, а также путем измельчения низкотоварной древесины. К 2025 году планируется достичь производства щепы в объеме 2010 тыс. м³ [6].

На территории Республики Беларусь находится большое число животноводческих комплексов, что позволяет рассматривать отходы жизнедеятельности содержащихся там животных и птицы в качестве надежной сырьевой базы для получения биогаза. В табл 2 приведены данные Национального статистического комитета Республики Беларусь по хозяйствам всех категорий на конец каждого года за последние пять лет [7].

Таблица 2

Поголовье скота и птицы

Вид животного	2016	2017	2018	2019	2020
Крупный рогатый скот, тыс. голов	4356	4298	4361	4340	4295
в том числе коровы, тыс. голов	1512	1502	1500	1498	1495
Свиньи, тыс. голов	2844	2796	2861	2842	2800
Овцы и козы, тыс. голов	3205	3145	3156	2841	2882
Лошади, тыс. голов	153	158	155	151	149
Птица, млн. голов	64	55	49	43	38

Биогаз целесообразно также получать из коммунальных отходов и канализационных стоков. По данным, приведенным в [8], в Республике Беларусь эксплуатируются 167 мест захоронения твердых бытовых отходов с фактическим объемом захоронения 206,6 млн. м³, и около 2450

канализационно-насосных станций, которые ежегодно пропускают более 590 млн. м³ сточных вод.

С 1990 г. до 2010 г. наиболее активно используемым источником возобновляемой энергетики была энергия движения водных потоков. Мини-ГЭС появились на территории современной Беларуси в 50-60-х годах прошлого столетия [9].

В Республике Беларусь преобладает равнинный рельеф, что не позволяет рассматривать крупную гидроэнергетику как источник энергии по причинам низкого потенциала водных потоков и побочных эффектов в виде затопления и подтопления значительных территорий. Однако на территории страны существует большое количество площадок, где могут быть размещены ГЭС малой мощности.

По мнению многих экспертов, в группе возобновляемых источников энергии солнечная энергетика обладает самым большим, в разы превышающим иные возобновляемые источники энергии, потенциалом в Республике Беларусь, как теоретическим, так и технически доступным.

Площадь неиспользуемых земель по данным Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь составила около 4,2 тыс. км² (2,0 % территории страны) [10]. Считается, что под солнечные установки можно использовать до 10 процентов таких земель [11].

По прогнозам Международного энергетического агентства, предполагается значительный прирост мощностей ветроэнергетики в мире на протяжении текущего десятилетия. Среднегодовая фоновая скорость ветра на территории страны составляет около 3,5 м/с на высоте 10 м над уровнем земли [12]. Скорости ветра в Беларуси отличаются по сезонам года: летом уменьшаются, зимой достигают максимальных средних значений – и по высоте.

Согласно результатам наблюдений, наиболее благоприятные территории для размещения ветроэнергетических установок расположены в северо-восточной, центральной и западной частях Беларуси. При выборе конкретных площадок следует учитывать, что на высотах 80 – 100 м от поверхности земли средняя скорость ветра достигает значений от 5,2 до 5,7 м/с, а местами (на высоте 100 м) – 6,0-6,5 м/с и более.

С целью прогнозирования развития возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь было проведено моделирование развития энергетической системы страны в период с 2021 по 2030 гг. с использованием программы MESSAGE. Была разработана и наследована модель Белорусской энергосистемы в разрезе отдельных генерирующих блоков, каждому из которых соответствовал ряд экономических (инвестиционные, переменные и постоянные затраты и др.) и технических (тип используемого топлива, установленная мощность, планируемая модернизация/замена, КИУМ и др.) параметров. Критерием оптимизации в программе MESSAGE является минимизация затрат в энергосистеме.

На рис. 1 представлена фактическая (период 2015-2019 гг.) и прогнозная согласно [13] (период 2020-2030 гг.) выработка электроэнергии в Республике Беларусь.

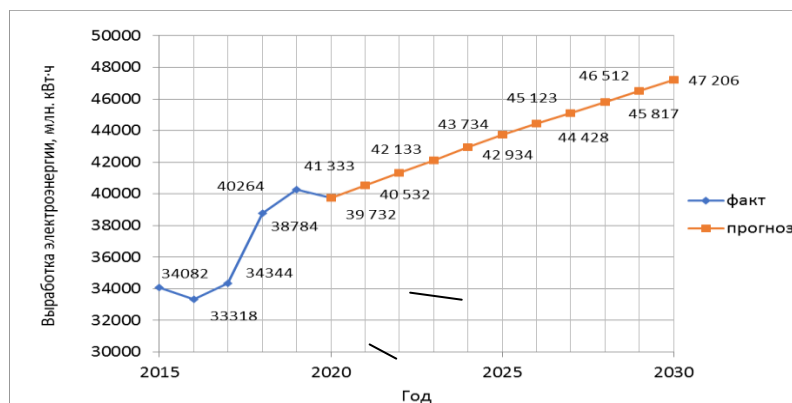


Рис.1. Выработка электроэнергии в период 2015-2030 гг. в Республике Беларусь, млн. кВт·ч

Объем централизованного и децентрализованного производства тепловой энергии в стране относительно постоянен и обычно не превышает 70 млн. Гкал ежегодно [13]. Динамика производства тепловой энергии больше обусловлена климатическими факторами, чем особенностями развития энергосистемы и экономики.

Рассмотрим отдельно выработку энергии из возобновляемых источников энергии. Ниже представлено фактическое производство электрической (рис. 2) и тепловой энергии (рис. 3) с использованием возобновляемых источников энергии в период 2010-2019 гг. в Республике Беларусь [14, 15].

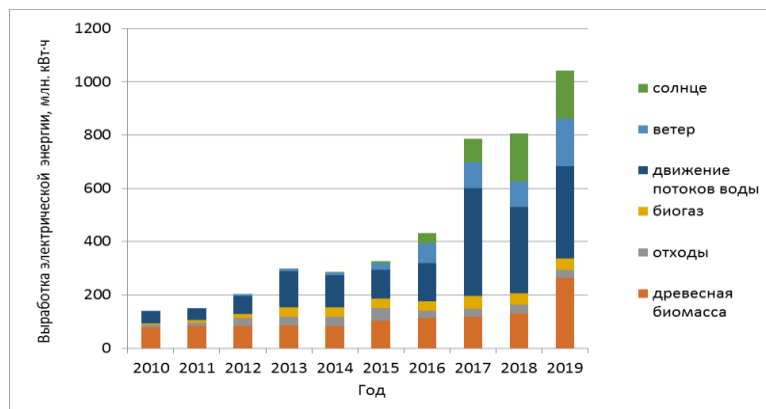


Рис.2. Производство электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии в период 2010-2019 гг. в Республике Беларусь

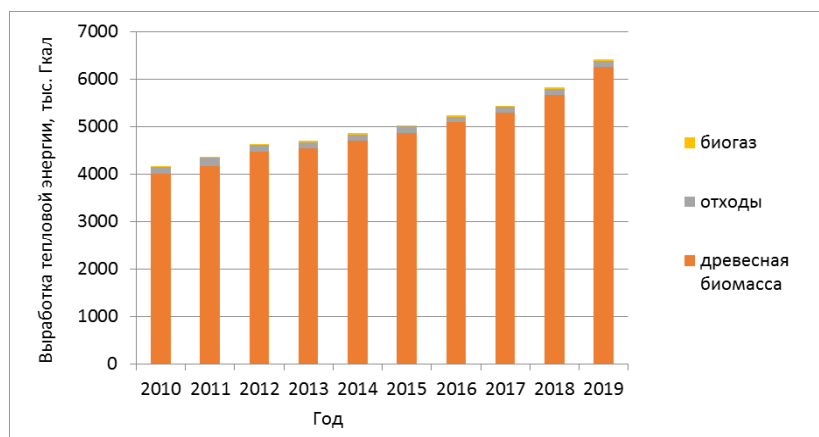


Рис.3. Производство тепловой энергии с использованием возобновляемых источников энергии в период 2010-2019 гг. в Республике Беларусь

При анализе графической информации, представленной выше на рис. 2 и 3, можно сделать заключение об интенсивном развитии возобновляемых источников энергии в 2015-2019 гг.

Моделирование осуществлялось на основе прогноза баланса производства электрической и тепловой энергии до 2030 года в Республике Беларусь, представленного в [13]. В результате был выполнен прогноз ввода новых мощностей различных типов энергогенерирующих объектов, в том числе работающих за счет возобновляемых источников энергии. Также была спрогнозирована структура производства электрической (рис. 4) и тепловой (рис. 5) энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг.

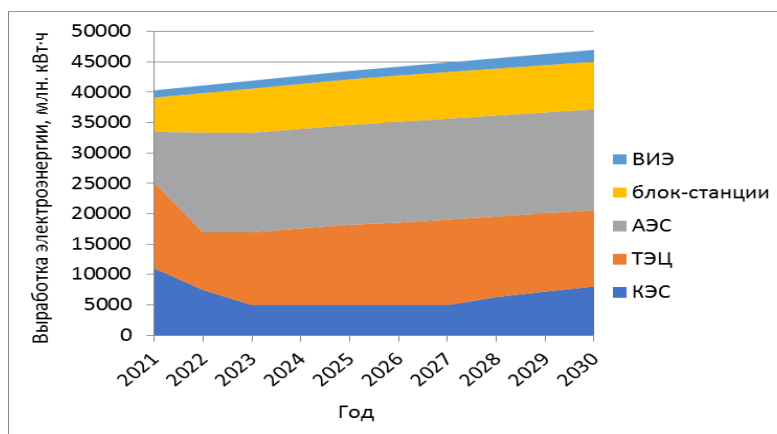


Рис. 4. Структура производства электрической энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг., согласно сценарию, млн. кВт·ч

Как видно на рис. 4 и 5, доля возобновляемых источников энергии как в производстве электрической, так и тепловой энергии будет расти, что будет способствовать повышению энергетической безопасности страны (рост индикаторов блока Энергетическая самостоятельность). Доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии, согласно прогнозу, увеличится до 3,4% в 2025 году и до 4,4% в 2030 г.; в производстве тепловой энергии – до 11,8% и 14,2%, соответственно.

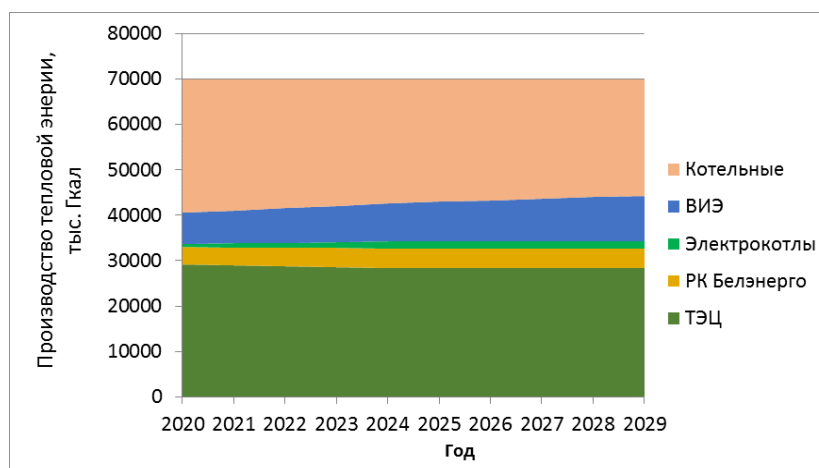


Рис. 5. Структура производства тепловой энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг., согласно сценарию, тыс. Гкал

Значение индикатора №2: отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников к валовому потреблению ТЭР, согласно проведенному исследованию, может достичь 8,9% в 2025 году и 10,6% в 2030 году, что превышает плановые 7,0% и 8,0%, соответственно, представленные в действующей редакции Концепции энергетической безопасности.

Таким образом, дальнейшее развитие возобновляемой энергетики в Республике Беларусь будет способствовать снижению экологической нагрузки энергетического сектора, повышению качества жизни населения и укреплению энергетической безопасности страны.

Литература

1. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 декабря 2015 г. № 1084 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/guid=3871&p0=C21501084> – Дата доступа: 28.12.2020.
2. Мониторинг состояния энергетической безопасности Республики Беларусь за 2019 год : отчет о НИР по заданию Энергетические системы, процессы и технологии 1.1.13 «Разработка методических подходов к

повышению энергетической безопасности в рамках концепции устойчивого развития с учетом интеграции возобновляемых источников энергии и АЭС в энергобаланс» (заключ.) / РНПУП «Институт энергетики НАН Беларуси» ; рук. А.А. Михалевич. – Минск, 2020 – 111 с. – № ГР 20190609.

3. Энергетический баланс Республики Беларусь. Статистический сборник. /Нац. статистический комитет Респ. Беларусь: редкол.: И.В. Медведева [и др.]. – Минск, 2019. – 154 с.

4. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь, 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_17588/ – Дата доступа: 01.02.2021.

5. Лесной фонд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mlh.by/our-main-activities/forestry/forests/> – Дата доступа: 04.02.2021.

6. Государственная программа «Белорусский лес» на 2021–2025 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 28.01.2021 № 52 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100052_1612386000.pdf – Дата доступа: 12.04.2021

7. Сельское хозяйство Республики Беларусь, 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/7ce/7ce6207d84d4ad5801ee24bb91548090.pdf> – Дата доступа: 14.03.2021.

8. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011 – 2015 годы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/file663fb27db70962e8.PDF> – Дата доступа: 13.11.2020.

9. Международное энергетическое агентство. Генерация электроэнергии из возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/data-and-statistics/country/BELARUS&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=RenewGenBySource> – Дата доступа: 12.03.2020.

10. Изъятие земель из продуктивного оборота [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/e-zemelnye-resursy/e-1-izyatie-zemel-iz-produktivnogo-oborota/> – Дата доступа: 14.08.2020.

11. Михалевич А. А. Потенциал и перспективы использования возобновляемых источников энергии в Беларуси / А.А. Михалевич // Возобновляемые источники энергии: потенциал, перспективы, достижения : материалы Международного семинара экспертов / Национальная академия наук Беларуси ; под ред. академика А.А. Михалевича. – Минск, 2011. – С. 11-18.

12. Климатические нормы скорости ветра Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pogoda.by/climat-directory/page=200> – Дата доступа: 12.02.2021.

13. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года. Приложение к постановлению Министерства энергетики Республики Беларусь 25 февраля 2020 № 7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/konsercii_i_proframmi/ – Дата доступа: 09.11.2020.

14. Международное энергетическое агентство. Данные и статистика // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=BELARUS&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=HeatGenByFuel> – Дата доступа: 13.10.2020.

15. Международное энергетическое агентство. Возобновляемые источники энергии [<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>] // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables> – Дата доступа: 16.11.2020.

*Представлено Белорусским национальным
техническим университетом*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГЕЛИОТЕПЛИЦЫ ТРАНШЕЙНОГО ТИПА

И.А. Юлдошев, Б.М. Ботиров, А.С. Халимов,
Д.М. Пулатова, Ю.М. Курбанов

Ҳозирги вақтда иссиқхона хўжаликларида иссиқхонанинг иссиқлик режимларини бошқариш муҳим вазифа ҳисобланади. Бу эса маҳаллий иқлимий шароитларни ҳисобга олиб иссиқхонани лойиҳалаида энергия менежментининг муҳим ташиқил этувчиси ҳисобланган иссиқхонанинг тўсиқ конструкцияси орқали иссиқлик йўқотилишини баҳолашга ёрдам беради. Ушбу тадқиқот ишида Ўзбекистон иқлим шароитларида илк бор атроф муҳити ҳароратига боғлиқ ҳолда траншейн турдаги қуёший-ёқилгили иссиқхонанинг математик модели таклиф қилинган. Шундай қилиб ҳозирги вақтда Ўзбекистон ҳудудлари иқлим шароитлари учун траншейн турдаги қуёший-ёқилгили иссиқхона микроиқлимини иссиқлик-техникавий баҳолаш бўйича маълумотлар мавжуд эмас.

Тадқиқотнинг мақсади траншейн турдаги қуёший-ёқилгили иссиқхонада микроиқлим ва иссиқлик режимлари математик моделини ишлаб чиқиш ҳисобланади. Таклиф этилган математик моделининг ишончилигини текшириш учун иссиқхона ичкари қисмидаги ҳаво ҳароратини ўлчаш билан боғлиқ экспериментал ўлчашлар ўтказилди. Траншейн турдаги қуёш-ёқилгили иссиқхонанинг математик моделининг аниқлиги “ўртача квадратик оғиш” (ЎҚО) ва корреляция квадрат коэффициенти усулларида фойдаланиш орқали баҳоланади. ЎҚО нинг натижаларига кўра қиймати $1,5^{\circ}\text{C}$, фоизларда эса $7,2\%$ га тенг, корреляция квадрат коэффициенти эса $0,86$ ни ташиқил этди.

В настоящее время управление тепловым режимом в теплицах является важной задачей тепличного хозяйства. Оценка теплотерь через ограждающие конструкции теплиц, является важной составляющей энергоменеджмента при проектировании теплицы с учетом местных климатических условий. В данной работе впервые предложена математическая модель для изучения поведения зависимости температуры воздушной среды в солнечно-топливной теплице траншейного типа в климатических условиях Узбекистана, так как в настоящее время теплотехническая оценка микроклимата солнечно-топливной теплицы траншейного типа для климатических условий регионов Узбекистан отсутствует.

Целью исследования является-разработать математическую модель теплового режима и микроклимата в солнечно-топливной теплице

траншейного типа. Для проверки достоверности предложенной математической модели были проведены экспериментальные измерения температуры воздуха внутри теплицы. Точность предложенной математической модели солнечно-топливной теплицы траншейного типа оценена с использованием методов «среднеквадратичного отклонения» (СКО). Как показывают результаты СКО равно 1,5 °С, СКО в процентах равно 7,2% и квадрат коэффициента корреляции равен 0,86.

At present, thermal management in greenhouses is an important task for the greenhouse industry. This is facilitated by the assessment of heat loss through the greenhouse enclosing structures, which is an important component of energy management when designing a greenhouse, taking into account local climatic conditions. In this work, for the first time, a mathematical model is proposed for studying the behavior of the dependence of the air temperature in a solar-fuel trench-type greenhouse in the climatic conditions of Uzbekistan. Since, at present, there is no thermal technical assessment of the microclimate of a solar-fuel trench-type greenhouse for the climatic conditions of the regions of Uzbekistan.

The aim of the study is to develop a mathematical model of the thermal regime and microclimate in a solar-fuel trench greenhouse. To check the reliability of the proposed mathematical model, experimental measurements of the air temperature inside the greenhouse were carried out. The accuracy of the proposed mathematical model of a solar-fuel trench-type greenhouse was estimated using the methods of "standard deviation" and the square of the correlation coefficient. As the results show, the standard deviation is equal to 1,5 °C, the standard deviation in percent is equal to 7,2% and the square of the correlation coefficient is 0,86.

Введение. До настоящего времени в мире проведена большая научно-исследовательская работа по расчету и испытанию различных агротехнических культивационных сооружений [1-15]. Огромный вклад в этой области внесли научные труды по теплотехническому расчету в работах [16–34]. Следует отметить, что в работе [28] приведены математические модели теплотехнических параметров микроклимата солнечной теплицы траншейного типа, с учетом агроклиматических условий регионов Туркменистана. На основе модели разработана и составлена климатическая карта районирования, построена номограмма для прогноза температурного режима теплицы траншейного типа для северного, восточного, центрального, юго-западного регионов страны. Однако, в настоящее время отсутствует теплотехническая оценка микроклимата солнечно-топливной теплицы траншейного типа с учетом климатических условий регионов Узбекистана.

Методология исследования. Для разработки математической модели солнечно-топливной теплицы траншейного типа для каждого элемента теплицы записывается дифференциальное уравнение теплового баланса (рис. 1) [1, 34]. Уравнения теплового баланса для растений:

$$\alpha_p(1 - \rho)\tau I_T(1 - F_n) = M_p C_p \frac{dT_p}{dt} + h_{rp} A_p (T_p - T_R) + h_r A_p (T_p - T_R) \quad (1)$$

где α_p - коэффициент лучепоглощения растений (-); ρ - коэффициент отражения светопрозрачного ограждения (-); τ - коэффициент отражения светопрозрачного ограждения (-); I_T - падающая суммарная солнечная радиация (Вт/м^2); F_n - отношение доли солнечной радиации, падающей на северную стену, к общей приходящей радиации одновременно [2]; M_p - масса растений (кг); c_p - удельная теплоемкость растений ($\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$); T_p , T_R - температура растений и воздуха внутри теплицы, соответственно (К); A_p - общая площадь поверхности растений (м^2); h_{rp} - общий коэффициент теплообмена из-за конвекции и испарения между растением и внутренней воздушной средой ($\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$); h_r - коэффициент теплообмена с излучением между растением и внутренним воздухом ($\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$):

$$h_{pr} = h_p + \frac{0.016 \cdot h_p [p(T_p) - \gamma_r p(T_R)]}{T_p - T_R};$$

$$h_p = 2.8 + 3 \cdot v_w;$$

$$h_r = F_{PR} \varepsilon \sigma (T_p^2 + T_R^2) (T_p + T_R);$$

где h_p - коэффициент теплообмена из-за конвекции между растением и воздухом внутри теплицы ($\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$); p - парциальное давление пара при насыщении (в температурах T_p и T_R) (Па); v - скорость ветра (м/с); F_{PR} - фактор формы между растением и помещением теплицы; ε - излучательная способность растения (-); σ - Постоянная Стефана-Больцмана ($\text{Вт/м}^2\cdot\text{K}^4$).

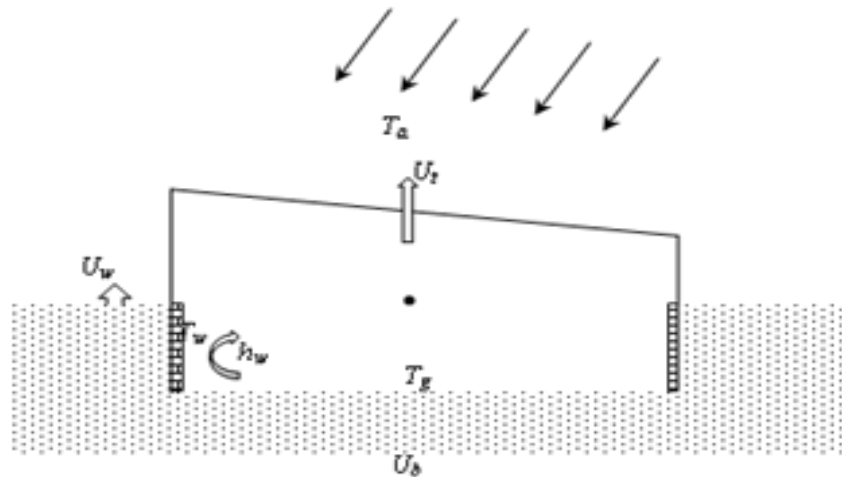


Рис. 1. Принципиальная схема теплопередачи в теплице
Уравнения теплового баланса для пола теплицы:

$$\alpha_g(1 - \alpha_p)(1 - \rho)\tau I_T(1 - F_n) = -k_g A_g \frac{\partial T_g}{\partial x_{x=0}} + h_a A_g (T_{g_{x=0}} - T_R); \quad (2)$$

где α_g – коэффициент поглощения солнечных лучей землёй (-); A_g – площадь поверхности земли (м^2); k_g – коэффициент теплопроводности земли ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); T_g – температура поверхности земли ($^\circ\text{C}$); h_a – коэффициент теплообмена с конвекцией между землёй ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) и внутренним воздухом.

$$-k_g A_g \frac{\partial T}{\partial x_{x=0}} = U_b A_g (T_{g_{x=0}} - T_\infty);$$

где U_b – коэффициент теплопередачи между от поверхности ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) и го метро глубины земли.

Уравнения теплового баланса для нижней (глухой стены) части стены [3]:

$$\alpha_w(1 - \alpha_p)(1 - \rho)\tau I_T(1 - F_n) = -k A_w \frac{\partial T_w}{\partial x_{y=0}} + h_w A_w (T_{w_{y=0}} - T_R); \quad (3)$$

где α_w – коэффициент поглощения солнечных лучей для стены (-); T_w – температура поверхности нижней части стены ($^\circ\text{C}$); h_w – коэффициент теплообмена с конвекцией между нижней части стены и внутренним воздухом ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); A_w – площадь поверхности стены (м^2);

$$-k A_w \frac{\partial T_w}{\partial x_{y=0}} = U_w A_w (T_{w_{y=0}} - T_a);$$

где U_w – коэффициент теплопередачи между поверхности нижней стены и окружающей средой ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

Уравнение теплового баланса для воздуха внутри теплицы:

$$A_p h_{pr}(T_p - T_R) + A_p h_r(T_p - T_R) + A_g h_a(T_{g_{x=0}} - T_R) + c_w \dot{m}_w(T_{in} - T_{out}) + A_w U_w(T_w - T_R) + (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_p)(1 - \rho)(1 - F_n)\tau I_T + \rho F_n \tau I_T(1 - \rho) = m_a C_a \frac{dT_R}{dt} + U_t A_c(T_R - T_a) + h_d A_d(T_R - T_a) + E_v; \quad (4)$$

где m_a , C_a – соответственно, масса (кг) и удельная теплоемкость воздуха внутри теплицы ($\text{Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$); c_w , \dot{m}_w – соответственно, удельная теплоемкость ($\text{Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$) и массовый расход воды (кг/с); T_{in} , T_{out} – температура воды у входа и выхода в отопительной системе ($^\circ\text{C}$); U_t – общий коэффициент теплопередачи теплицы ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); A_c – площадь поверхности светопрозрачных ограждений (м^2); h_d – коэффициент теплопередачи от двери теплицы к окружающему воздуху ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); A_d – площадь поверхности двери (м^2); E_v – обмен водяного пара за счет инфильтрации воздуха и вентиляции между внутренним и внешним пространством (Вт);

$$E_v = \frac{h_v}{\lambda \gamma_o} [p(T_R) - p(T_a)];$$

где h_v – коэффициент теплопередачи за счет обновления воздуха ($\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); λ – скрытая теплота испарения воды (Дж/кг); γ_o – психрометрическая константа:

$$h_v = \rho_a C_a \frac{\dot{m}}{A_g};$$

где \dot{m} - расход воздуха между внутри теплицей и окружающей средой (кг/с); ρ_a - плотность воздуха (кг/м³):

$$\dot{m} = A_f [f_w^2 v^2 + f_T^2 (T_R - T_a)];$$

где A_f - эффективная площадь для инфильтрации (м²); v - средняя скорость воздуха внутри теплицы (м/с); f_w, f_T - коэффициенты влияющие на скорости воздуха внутри теплицы:

$$A_f = A_c f_f + 0.00588 A_v \xi e^{-\xi/50};$$

где f_f - коэффициент герметичности (-); A_v - площадь вентилятора (м²); ξ - угол открытия (°).

Для решения дифференциальных уравнений (1) - (4) использован операционный метод, т.е. метод преобразования Лапласа.

Проверка достоверности результатов моделирования

Экспериментальная процедура. В целях проверки разработанной математической модели солнечно-топливной теплицы траншейного типа были проведены экспериментальные измерения температуры воздуха внутри теплицы. Для этого, 9.02.2021г была построена опытная теплица траншейного типа на опытном участке Ташкентского государственного технического университета.

Температуры в разных точках воздушной среды измерялось внутри теплицы. Подобное измерение позволяет найти среднюю температуру неоднородно нагретой воздушной среды внутри теплицы. НТС-1, измеритель температуры с жидкокристаллическим индикатором влажности бкл использован для измерения температуры и влажности: диапазон измерений температуры: от -10 °С ~ до + 70 °С, диапазон измерения влажности: от 10% до 90% относительной влажности. Точность измерения температуры ± 1 °С и влажности $\pm 5\%$ с разрешениями: температура 0,1 °С и 1 % - влажность.

Для измерения плотности потока солнечной радиации был использован Di-log Solar Power Meter. Диапазон измерения датчика плотности потока солнечной радиации от 1 до 1999 Вт/м². Точность измерения устройства находится в пределах ± 10 Вт/м².



Рис. 2. Динамика изменения плотности потока солнечной радиации в течение дня (05.02.2021)

Как показывают результаты эксперимента, наибольшее значение плотности потока, падающего на горизонтальную поверхность солнечного излучения составило 994 Вт/м^2 и соответствует времени 14:00 дня (рис. 2.). Одновременно измерялось максимальное значение температуры воздушной среды внутри теплицы.

Экспериментальная проверка математической модели. Статистический анализ предлагаемой математической модели солнечно-топливной теплицы траншейного типа осуществлялся сопоставлением экспериментальных результатов, проведенных в период 5-9.02.2021г. на лабораторном участке Ташкентского государственного технического университета с расчетными результатами. Сопоставление расчетных и экспериментальных результатов температуры воздушной среды в теплице показано на рис. 3-4. Из-за установленного термодинамического равновесия, т.е. тепловой инерции и усреднения значения температуры воздушной среды внутри теплицы, наблюдается некое несоответствие измерений в начале эксперимента и расчетов (рис. 4).

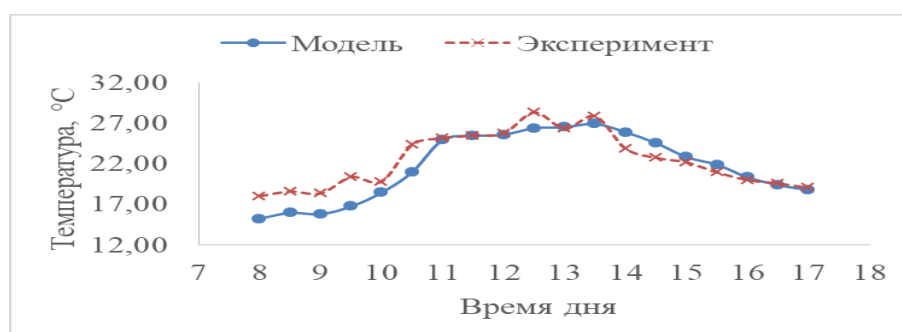


Рис. 3. Сопоставление расчетных и экспериментальных (05.02.2021) результатов температуры воздушной среды в теплице

Однако, сопоставление расчетных и экспериментальных результатов температуры воздушной среды в теплице, проведенное в другой день, показывают отличное соответствие расчетных и измеренных данных (рис. 4).

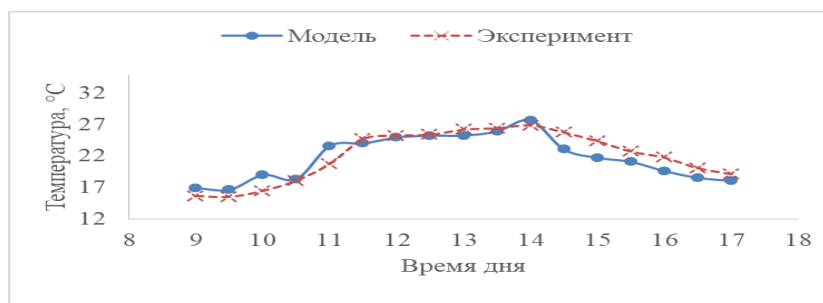


Рис. 4. Сопоставление расчетных и экспериментальных (09.02.2021) результатов температуры воздушной среды в теплице

Оценка точности математической модели. Точность предложенной модели на каждом уровне верификации и валидации оценивалась с использованием методов «среднеквадратичного отклонения (СКО)». Поэтому мы используем общий анализ, основанный на коэффициенте детерминации (R^2) и СКО. В общем, коэффициент детерминации дает представление о том, насколько функция хорошо соответствует набору данных. СКО – это мера того, насколько данные сконцентрированы вокруг линии наилучшего соответствия:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (T_{e_i} - T_{m_i})}{\sum_{i=1}^n (T_{e_i} - \bar{T}_{e_i})}; \quad (5)$$

$$\text{СКО} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{e_i} - T_{m_i})^2}{n}};$$

или

$$\text{СКО}\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{e_i} - P_{m_i})^2}{n}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n P_{e_i}}{n} \cdot 100\%; \quad (6)$$

где n - количество точек данных, T - набор экспериментальных и расчетных данных, а \bar{T} - среднее значение набора экспериментальных и расчетных данных. Индексы e и m обозначают измеренные и расчётные данные соответственно. Как показывают результаты: СКО равно $1,5^\circ\text{C}$, СКО в процентах равно $7,2\%$ и квадрат коэффициента корреляции (коэффициент детерминации (R^2)) равен $0,86$.

Закключение

В данной работе впервые предложена математическая модель для изучения поведения зависимости температуры воздушной среды в гелиотеплице траншейного типа в климатических условиях Узбекистана. Целью исследования являлась разработка достоверной математической модели для изучения теплового режима и микроклимата в солнечно-топливной теплице траншейного типа, в климатических условиях Узбекистана. Учитывая, что в настоящее время отсутствует теплотехническая оценка микроклимата солнечно-топливной теплицы траншейного типа для климатических условий регионов Узбекистана, выполненные исследования имеют большое значение для проектирования и эксплуатации таких теплиц.

Для того, чтобы проверить достоверность разработанной математической модели солнечно-топливной теплицы траншейного типа были проведены экспериментальные измерения температуры воздуха внутри теплицы. Точность предложенной математической модели солнечно-топливной теплицы траншейного типа оценивалось на каждом этапе

верификации и валидации с использованием методов «среднеквадратичного отклонения» и коэффициентов детерминации.

Литература

1. Sethi V.P. On the selection of shape and orientation of a greenhouse: Thermal modeling and experimental validation / *Solar Energy* 83 (2009) 21–38.
2. Tiwari, G.N., Din, M., Srivastava, N.S.L., Jain, D., Sodha, M.S., 2002. Evaluation of solar fraction (F_n) for north wall of a controlled environment greenhouse: an experimental validation. *Int. J. Energ. Res.* 26, 203–215.
3. Çengel Yu.A., Ghajar A.J. Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Fifth Edition, McGraw-Hill Education, 2015. P.1208.
4. Shcherbakov, M.V., Brebels, A., Shcherbakova, N.L., Tyukov, A.P., Janovsky, T.A., Kamaev, V.A., 2013. A survey of forecast error measures. *World Appl. Sci. J.* 24, pp. 171–176.
5. Kobayashi, K., Salam, M.U., 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92 (2), pp. 345–352.
6. Kottegoda, N.T., Rosso, R., 2008. Applied statistics for civil and environmental engineers. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, United Kingdom, p. 718.
7. Я.В. Коженко, А.В. Катаев, Т.М. Катаева, Н.В. Лихолетова, Е.Л. Макарова, Л.В. Шаронина; Коллективная монография. - Уфа: «ОМЕГА САЙНС», 2016. - 108 с.
8. Пенджиев А.М. Энергоэффективность энергетических ресурсов и климатическое районирование солнечных теплиц. // *Экономика: экономика и сельское хозяйство*, 2017. №9 (21).
9. Пенджиев, А.М. Агротехника выращивания дынного дерева (*Carica papaya L.*) в условиях защищенного грунта в Туркменистане. Автореф. дис. д-р сельхоз. наук. - Москва, 2000. - 54 с.
10. Пенджиев А.М. Математическая модель теплотехнических расчетов микроклимата траншейной солнечной теплицы. // *Альтернативная энергетика и экология*, 2010. №7. С.62-70.
11. Пенджиев А.М. Математическое моделирование микроклимата в солнечной теплице траншейного типа. // *Альтернативная энергетика и экология*, 2010. №8, - С. 60-69.
12. Пенджиев А.М., Пенджиева, Д.А. Возможности использования геотермальных вод для теплоснабжения теплиц Туркменистана. Материалы международной конференции «Энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве», - 2008. Москва, ВИЭСХ. – С. 37-45.
13. Рыбакова, Л.Е., Пенджиев, А.М. Энергия барада сохбет. - А.: Магарыф, 1993.

14. Стребков, Д.С., Пенджиев, А.М., Мамедсахатов, Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане Монография. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012, - 496 с.
15. Yang, S.-H.; Son, J.-E.; Lee, S.-D.; Cho, S.-I.; Araghi, A.A.; Rhee, J.-Y. Surplus thermal energy model of greenhouses and coefficient analysis for effective utilization. Span. J. Agric. Res. 2016, 14, 4. [CrossRef]Energies 2019, 12, 3592 20 of 20.
16. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте. - Л.: Гидрометеиздат, 1969.
17. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв. - Л.: Гидрометеиздат, 1979.
18. Байрамов Р.Б., Мезилов А., Гурбанов Н., Рыбакова Л.Е. Аналитические исследования нестационарного теплового режима гелиотеплицы // Изв. АН ССР, серия ФТХ и ГН. 1973. № 3. Ашхабад: Ылым. - С. 29–32.
19. Куртнер А.Д., Решетин О.Л., Семикина Г.Г., Чудновский А.Ф. Метод расчета температуры почвы с отдельным учетом временных изменений метеорологических параметров. / Сб. трудов по агрофизике. 1970. Вып. 26. - С. 16–27.
20. Курбанов Н., Курбанова Г. Количественное описание температурных режимов культивационных сооружений, обогреваемых солнечной радиацией.
21. Куртнер Д.А., Решетин О.Л., Чудновский А.Ф. 1983. Решение уравнений теплопроводности при переменном коэффициенте переноса. / Сб. трудов по агрофизике. Ашхабад: Туркмениити, 1970. Вып. 26. - С. 80–99.
22. Хайрутдинов Б. Разработка, исследование и внедрение гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла. Автореф. дисс. докт. тех. наук.
23. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. М.: Науч- Ашхабад, 1990. ка, 1976.
24. Ануфриев Л.Н., Кожин И.А., Позин Г.М. Теплофизические расчеты сельскохозяйственных зданий. - М.: Стройиздат, 1974.
25. Прищеп Л.Г. Эффективная электрификация защищенного грунта. - М.: Колос, 1980.
26. Пенджиев А.М. Агротехника выращивания дынного дерева (*Carica papaya L.*) в условиях защищенного грунта в Туркменистане. Автореф. дис. уч. степени докт. наук. - М., 2000.
27. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. - Л.: Гидрометеиздат, 1980.

28. Пенджиев А.М. Математическое моделирование теплотехнических расчетов микроклимата и агроклиматическое районирование гелиотеплицы // Гелиотехника. 2001. № 3.

29. Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова. -Л.: Гидрометеиздат, 1986.

30. Табуныщиков Ю.А. Расчеты температурного режима помещения и требуемой мощности для его отопления или охлаждения. - М.: Стройиздат, 1981.

31. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. - Л.: Гидрометеиздат. 1977.

32. Байрамов Р.Б., Рыбакова Л.Е., Гурбанов Н. Упрощенная методика теплового расчета гелиотеплицы с учетом нестационарности ее работы. // Гелиотехника. 1973. № 3. - С. 45–49.

33. Рыбакова Л.Е., Пенджиев А.М. Рекомендации по выращиванию кофейных деревьев в условиях солнечной теплицы. - Ашхабад: ТуркменНИИНТИ, 1990.

34. Ботиров Б.М., Халимов А.С. и др. Программа расчёта температурного режима теплицы траншейного типа. DGU 10743, 08.04.2021.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом
и Физико-техническим институтом
НПО “Физика-Солнце” АН РУз*

УДК 620.91.

**ТРЕНДЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РАМКАХ
КОНЦЕПЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ****В.В. Елистратов**

Кўпгина мамлакатларда Париж келишувига биноан кам углеродли қазиб олиш бўйича мажбуриятларни қабул қилиш ва иссиқхона газлари чиқиндилари учун миллий улуш даражасларини (НПЛ) қабул қилиш сиёсати мавжуд. 21-асрда жаҳон энергетикаси ривожланишининг асосий йўналиши иқлим ўзгариши таъсирида қазилма ёқилгиларнинг босқичма-босқич силжиши ва қайта тикланадиган энергия манбаларидан кенгроқ ва кенг фойдаланиш билан боғлиқ бўлган 4-энергетик ўтишга эришишидир. Жаҳон энергетикаси ривожланишининг таҳлили шуни кўрсатдики, 2019 йилда дунёда электр стантсияларининг ўрнатилган қуввати 7 418,0 ГВтни ташиқил этди, шу жумладан: қазилма ёқилғи заводларининг қуввати (нефт ва газ) тахминан 60% - 4,445 ГВт; атом электр стантсиясининг қуввати - 420 ГВт (5,7%); йирик ГЭСларнинг қуввати 1302 ГВт (17,6%); шамол электр стантсияларининг қуввати 651 ГВт (8,8%); қуёш электр стантсияларининг қуввати 586 ГВт (7,9%); геотермик электр стантсияларининг қуввати 14 ГВт (0,2%). Умуман олганда, кам углеродли технологиялар (ядро, гидроэнергетика ва қайта тикланадиган энергия) умумий энергия ишлаб чиқаришининг 36% дан ортигини таъминлайди. Россиянинг қайта тикланадиган энергетикани ривожлантириш дастури 2024 йилгача 5,8 ГВт қайта тикланадиган энергия қувватларини ишга туширишни назарда тутди. фойдаланишга топширилади: шамол электр стантсиялари - 3,4 ГВт, СФЕС - 2,2 ГВт ва кичик ГЭС - 0,2 ГВт. 2020 йил охирига қадар СФЕСда 1500 МВт дан ортиқ, WPPда 1025 МВт қувватга яқин энергия ишга туширилди. Биргаликда Россияда кам углеродли энергия ишлаб чиқариш технологиялари умумий электр энергиясининг 37 фоизини таъминлайди.

Во многих государствах проводится политика принятия обязательств по низкоуглеродному развитию и принятию национальных уровней вклада (НУВ) в выбросы парниковых газов, в соответствии с Парижским соглашением. Основным направлением развития мировой энергетики в 21 веке является выход к 4-му энергетическому переходу, связанному с постепенным вытеснением ископаемого топлива под влиянием климатических изменений и более широкому и повсеместному использованию возобновляемых источников энергии. Анализ мирового развития энергетики показал, что в 2019 году установленная мощность электри-

ческих станций в мире составила 7418, 0 ГВт, в том числе: мощность станций на органическом топливе (нефть и газ) составила около 60% - 4445 ГВт; мощность атомных станций - 420 ГВт (5,7%); мощность крупных ГЭС – 1302 ГВт (17,6%); мощность ветроэлектрических станций 651 ГВт (8,8%); мощность солнечных электростанций – 586 ГВт (7,9%); мощность геотермальных электростанций 14 ГВт (0,2%). В целом технологии низкоуглеродного развития (атомная, гидро- и возобновляемая энергия) обеспечивают свыше 36% от общего производства энергии. Российская программа развития ВИЭ предусматривает ввод к 2024 году 5,8 ГВт мощностей ВИЭ, в т.ч. будет введено: ВЭС - 3,4 ГВт, СФЭС - 2,2 ГВт и МГЭС - 0,2 ГВт. По состоянию на конец 2020 года введено более 1500 МВт на СФЭС около 1025 МВт на ВЭС. В совокупности низкоуглеродные технологии производства энергии в России обеспечивают около 37% от общего производства электроэнергии.

Many countries have a policy of making commitments to low-carbon development and adopting National Contribution Levels (NLCs) for greenhouse gas emissions, in accordance with the Paris Agreement. The main development direction of the world energetics in the 21st century is to reach the 4th energy transition, associated with the gradual displacement of fossil fuels under the influence of climate change and the broader and widespread use of renewable energy sources. Analysis of energy development showed that in 2019 the installed capacity of power plants in the world amounted to 7,418 GW, including: the capacity of fossil fuel (oil and gas) power plants amounted to about 60% - 4,445 GW; nuclear power plant - 420 GW (5.7%); large hydroelectric power plants – 1,302 GW (17.6%); wind power plants - 651 GW (8.8%); solar power plants - 586 GW (7.9%); geothermal power plants - 14 GW (0.2%). In general, low-carbon technologies (nuclear, hydro and renewable energy) provide over 36% of total energy production. Russian renewable energy development program provides for the commissioning of 5.8 GW of renewable energy capacities by 2024, including will be commissioned: WPPs - 3.4 GW, SPVPPs - 2.2 GW and small HPPs - 0.2 GW. As of the end of 2020, more than 1,500 MW were commissioned at the SPVPPs, about 1,025 MW at the WPPs. Taken together, low-carbon energy production technologies in Russia provide about 37% of total electricity production.

Политика, принимаемая в мировом сообществе для смягчения последствий изменения климата, может стимулировать внедрение возобновляемых источников энергии во всех секторах конечного использования. Еще в 1992 году резолюции по докладу ООН по экологии и устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро было отмечено, что «...сокращение атмосферных выбросов парниковых и других газов и веществ во все большей степени следует добиваться за счёт повышения эффективности

производства, передачи, распределения и потребления энергии, а также за счет использования экологически обоснованных энергетических систем, особенно действующих на основе новых и возобновляемых источников энергии...».

В течение последних лет [1] во многих государствах проводится политика принятия обязательств по низкоуглеродному развитию и принятию национальных уровней вклада (НУВ) в выбросы парниковых газов, в соответствии с Парижским соглашением.

Так в 2019 году Европейская комиссия (при воздержавшейся Польше) предложила «Европейскую Зеленую сделку» по созданию первого углеродно-нейтрального континента к 2050 году. За пределами Европы в Новой Зеландии был принят закон о достижении чистых нулевых выбросов к 2050 году. Российская Федерация официально приняла Парижское соглашение в 2019 году, однако к концу года она отказалась от планов по введению квот на выбросы, ограничению выбросов углекислого газа для крупнейших в стране источников выбросов и штрафов для крупных предприятий, которые превышают квоты.

Энергоэффективность может обеспечить более 40% сокращения выбросов, требуемого к 2040 году в соответствии с Парижским соглашением и, таким образом, энергоэффективность в сочетании с возобновляемыми источниками энергии и другими мерами необходима для достижения глобальных климатических целей.

Основным направлением развития мировой энергетики в 21 веке является выход к 4-му энергетическому переходу, связанному с постепенным вытеснением ископаемого топлива под влиянием климатических изменений и более широкому и повсеместному использованию возобновляемых источников энергии. Согласно [2] термин «энергетический переход» используется «для описания изменений в структуре потребления первичной энергии и постепенного перехода от существующей схемы энергоснабжения к новому состоянию энергосистемы». Предыдущие «энергетические переходы» могут быть охарактеризованы следующими изменениями в используемых топливно-энергетических ресурсах:

- первый энергетический переход был связан с постепенным изменением использования биомассы (фактически дров) и перехода на уголь в период с 1840 по 1900 год, когда доля угля в общем потреблении первичной энергии увеличилась с 5% до 50%;

- второй энергетический переход связан с более широким использованием нефти - ее доля увеличилась с 3% в 1915 году до 45% к 1975 году. При этом интенсивный период перехода с угля на нефть пришелся на 40-50-е годы и фактически закончился в 1975 году «нефтяным» кризисом;

- третий энергетический переход связан с широким использованием природного газа (его доля увеличилась с 3% в 1930 году до 23% в 2017 году) из-за вытеснения угля и нефти. В период после 50-х годов начала

активно развиваться атомная энергетика, которая может также считаться драйвером третьего перехода.

- четвертый энергетический переход, характеризующийся широким внедрением ВИЭ, можно отсчитывать с конца 90-х годов прошлого века. За последние 20 лет потребление атомной энергии практически не изменилось, потребление нефти увеличилось в 1,3 раза, газа, угля и гидроэнергии - в 1,6 раза, возобновляемых источников энергии - в 14 раз, что свидетельствует об активной реализации 4-ого энергетического перехода.

Анализ изменения доли потребления различных видов ресурсов при производстве электроэнергии в эпоху 4-ого перехода приведен в табл.1 [3,4] и показывает снижение доли органических топлив (особенно нефти) и увеличение доли возобновляемых ресурсов.

Таблица 1

Динамика производства электрической энергии в мире за счет различных источников энергии, в % от общего производства

Ресурс \ Год	1971	1986	1995	2000	2009	2015	2019
Уголь	40,02	38,74	37,89	39,1	40,6	41,2	38,0
Нефть	20,87	11,92	9,43	7,92	5,1	5,6	1,6
Природный газ	13,27	12,53	14,86	17,41	21,4	20,1	23,2
Атомная энергия	2,12	15,86	17,57	16,86	13,4	13,8	10,4
Гидроэнергия	23,03	20,12	18,79	17,10	16,2	16,46	15,6
ВИЭ	0,69	0,83	1,56	1,71	3,3	5,94	10,4
Производство электроэнергии, ТВт·ч, %	5248	10098	13271	15379	20055	23537	27004 100%

В целом технологии низкоуглеродного развития (атомная, гидро- и возобновляемая энергия) обеспечивают свыше 36% от общего производства энергии.

Следуя концепции низкоуглеродного развития, можно выделить следующие основные тенденции развития энергетики на перспективу до 2050 года:

а) снижение энергоемкости ВВП (к 2050 году по разным сценариям снижение ВВП в целом в мире может составить 1,4-1,8 %) за счет уменьшения стоимости энергии в себестоимости продукции;

б) необходимость выполнения Парижских соглашений по климату и сокращение выбросов парниковых газов (в целом по миру от 49% до 55% по сравнению с 2010 годом);

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

с) существенное (на 3%) сокращение углеродоемкости ВВП за счет повышения эффективности использования энергии и внедрения безуглеродных энергетических технологий;

д) увеличение инвестиций в «зеленую» энергетику.

Общемировое производство электроэнергии по видам энергетических ресурсов показано на рис. 1.

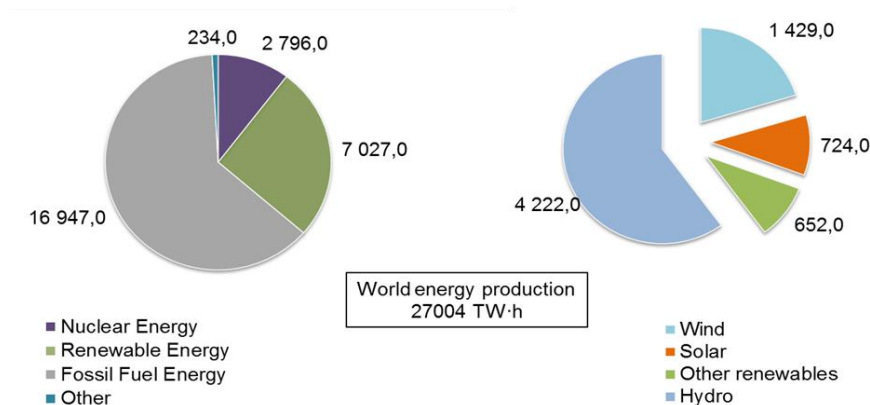


Рис.1. Мировое производство электроэнергии по видам ресурсов в 2019 году [3]

В 2019 году установленная мощность электрических станций в мире составила 7418, 0 ГВт, в том числе: мощность станций на органическом топливе (нефть и газ) составила около 60% - 4445 ГВт; мощность атомных станций - 420 ГВт (5,7%); мощность крупных ГЭС – 1302 ГВт (17,6%); мощность ветроэлектрических станций 651 ГВт (8,8%); мощность солнечных электростанций – 586 ГВт (7,9%,) ; мощность геотермальных электростанций 14 ГВт (0,2%).

Следует отметить, что тренды на рост установленных мощностей ВИЭ во всем мире приводят и к увеличению доли производства ВИЭ в общем энергобалансе (рис. 2). Так Германия планирует к 2050 году довести долю ВИЭ до 80%, США – к 2035 году – 40%.

Тенденции развития мировой энергетики и движение в сторону низкоуглеродного развития, отражаются и на объемах инвестиций в сектора энергетики. Согласно отчету Агентства Bloembergen [5] мировые инвестиции в отрасли и сектора энергетики в 2018 году составили:

- аккумуляторные батареи (4 млрд. долларов США);
 - сети (293 млрд. долларов США);
 - возобновляемая энергетика (293 млрд. долларов США);
 - атомная (47 млрд. долларов);
 - энергетика на ископаемом топливе (127 млрд. долларов США);
- в нефтегазовом секторе:

- переработка (249 млрд. долларов США);
- извлечение и добыча (477 млрд. долларов США);

в сфере энергоэффективности:

- промышленность (38 млрд. долларов США);
- транспорт (63 млрд. долларов США);
- здания (139 млрд. долларов США);

в угольном секторе - 80 млрд. долларов США;

в возобновляемых источниках энергии для транспорта и теплоснабжения - 25 млрд. долларов США.

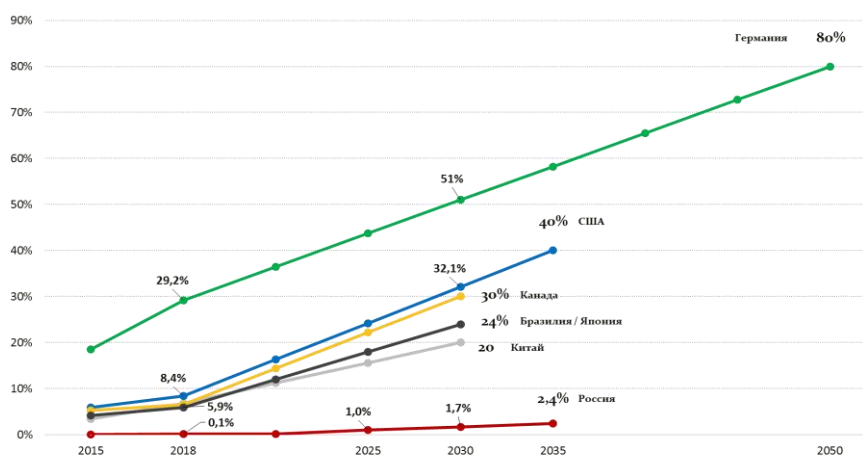


Рис. 2. Тренды внедрения ВИЭ в производство электроэнергии в ряде стран мира

Из анализа видно, что значительные средства вкладываются в новые направления (системы накопления энергии), в энергоэффективность (в здания и на транспорте, в т. ч. за счет ВИЭ), а также в технологии и новое строительство объектов ВИЭ.

Среди ВИЭ наибольшие инвестиции вкладываются в ветровую и солнечную энергетику, в 2020 году, соответственно, 143,0 и 150,0 млрд. долларов.

Как известно, значительный вклад в выбросы парниковых газов (до 40%) вносит нефтегазовая промышленность. Крупнейшие нефтяные компании, в рамках Парижских климатических соглашений, особенно в последние два года, занимаются повышением энергетической эффективности своей деятельности и диверсификацией своего бизнеса в пользу технологий декарбонизации и внедрения ВИЭ. Многие крупные нефтегазовые компании (BP, Equinor, Eni, Shell, Total, Repsol) взяли на себя обязательства к 2050 году стать углеродно-нейтральными. Отметим здесь, что из вклада выбросов ПГ в нефтегазовой промышленности (40%) лишь около 20% от этой эмиссии можно отнести непосредственно к нефте-

газодобыче и транспортировке углеводородов, остальные выбросы происходят при сжигании. Приоритетными направлениями в низкоуглеродных технологиях нефтегазовых компаний является строительство ветровых и солнечных электростанций. Анализ портфелей строительства объектов ВИЭ экспертно показывает, что к 2030 году в крупнейших нефтегазовых компаниях (указанных выше) планируется ввод более 120 ГВт СЭС и ВЭС. Что касается российских компаний, которые не сталкиваются с «климатическим прессингом», то их цели в декарбонизации бизнеса являются значительно более скромными.

Развитие ветроэнергетики за последние 10 лет приведены на рис. 3 [1]. Общая установленная мощность ВЭС в мире увеличилась более чем в 5 раз и достигла мощности в 2020 году 721 ГВт с ежегодным приростом 50-60 ГВт в год. При этом установленная мощность ВЭС, построенных на суше (береговые ВЭС), превысила 685 ГВт и около 35 ГВт построены на морском шельфе (оффшорные ВЭС). Тор 5 лидеров по мощности ВЭС (в 2019 году) занимают Китай (211 ГВт), США (97 ГВт), Германия (60 ГВт), Индия (35 ГВт), Испания (25 ГВт).

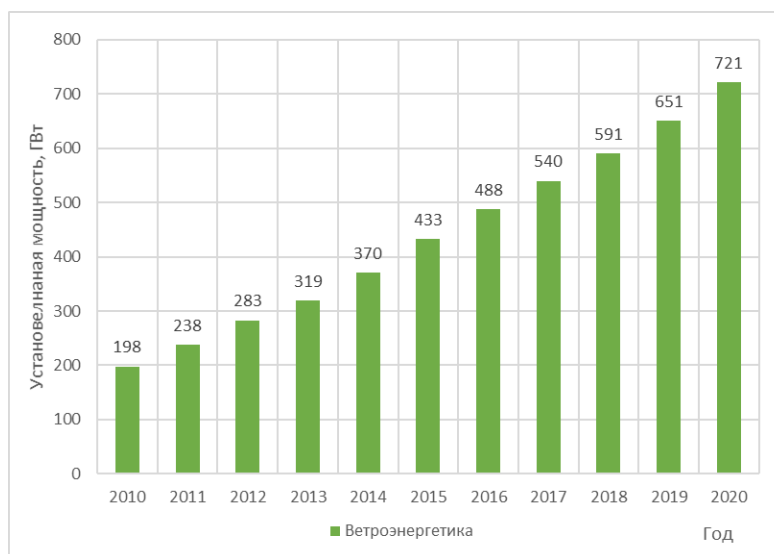


Рис. 3. Тенденции роста мировой ветроэнергетики, ГВт

Развитие солнечной фотоэнергетики происходит еще более стремительно и за 10 лет её мощность увеличилась более чем в 17 (!) раз: до 715 ГВт [1] (рис. 4) и почти достигла мощности ВЭС. За последние годы ежегодный прирост мощности солнечной фотоэнергетики составляет 90-100 ГВт, а в 2020 году прирост составил 130 ГВт.

На фоне развития ВИЭ в мире, российская программа развития ВИЭ фактически стартовала с 2013 года, когда была принята «Программа ДПМ ВИЭ 1.0», которая предусматривает ввод к 2024 году 5,8 ГВт мощ-

ностей ВИЭ, в т.ч. будет введено: ВЭС - 3,4 ГВт, СФЭС - 2,2 ГВт и МГЭС - 0,2 ГВт. По состоянию на конец 2020 года введено более 1500 МВт на СФЭС, около 1025 МВт на ВЭС, причем в 2020 году введено 908 МВт. В табл. 2 приведены данные крупнейших солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) России. В табл. 3 приведены сведения о крупнейших ВЭС России, построенных в последнее время.

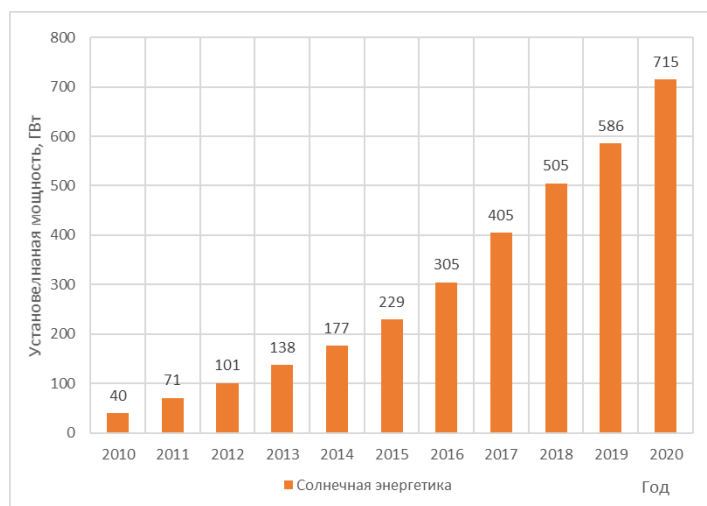


Рис. 4. Развитие солнечной энергетики, ГВт

Инвестиции в индустрию ВИЭ в 2020 году в России составили около 100 млрд. рублей. Создана индустрия изготовления оборудования ВИЭ на предприятиях России со степенью локализации более 65%.

Таблица 2

Крупнейшие СФЭС России

Название СФЭС	Местоположение	Площадь, Га	Мощность, МВт
Перовская	Республика Крым	200	105,56
Старомарьевская	Ставропольский край	50	100
СФЭС Охотниково	Республика Крым	160	82,6
Фунтовская	Астраханская область.	146	75
Самарская	Самарская область	220	75
СФЭС Николаевка	Республика Крым	116	69,7
Сорочинская	Оренбургская область	120	60
Ахтубинская	Астраханская область	200	60
Новосергиевская	Оренбургская область	92	45
Усть-Коксинская	Республика Алтай		40
Орская СФЭС	Оренбургская область	100	40

Таблица 3

Современные российские ВЭС

Название,	Местоположе- ние	Мощность, МВт	Тип ВЭУ и кол-во
Ульяновская-1	Ульяновская обл.	35	DF 2,5 MW , 14 шт.
Ушаковская	Калининградская обл.	5,1(6,9)	Enercon E70 2,3 МВт, 3 шт.
Ульяновская-2	Ульяновская обл.	50	Vestas 3,6 МВт, 14 шт.
Адыгейская	Республики Адыгея	150	Lagerwey L100–2,5 МВт, 60 шт.
Сулинская	Ростовская обл.	100	Vestas V126-3.45 MW, 26шт.
Гуковская	Ростовская обл.	100	Vestas V126-3.45 MW, 26 шт.
Каменная	Ростовская обл.	100	Vestas V126-3.45 MW, 26шт.
Юстинская	Респ. Калмыкия	15	Vensys 600 кВт 25 шт.

Создано производство солнечных батарей на предприятиях «Хевел» (380 МВт в год) и «Солар Системс» (240 МВт в год).

В ветроэнергетике производство локализовано на предприятиях компаний: «НоваВинд (Госкорпорация «Росатом») (300 МВт в год, безредукторные ВЭУ Lagerwey 2,5 МВт), «Vestas» (300 МВт в год, редукторные ВЭУ Vestas 3,6-4,2 МВт), «Сименс Гамеса Реньюэбл Энерджи» (200 МВт в год, редукторные ВЭУ SG 3.4-132).

Доля производства электроэнергии от ветровой и солнечной энергетики в 2020 году составила около 0,55% от общего производства (1078 млрд. кВт·ч), однако, если считать в целом низкоуглеродные технологии производства энергии, а это дополнительно - атомная энергетика и гидроэнергетика, то доля низкоуглеродных технологий составит около 37% от общего производства, что свидетельствует о хорошем вкладе России в концепцию низкоуглеродного развития.

Заключение

1. Основным направлением развития мировой энергетики в 21 веке является выход к 4-му энергетическому переходу, связанным с постепенным вытеснением ископаемого топлива под влиянием климатических изменений и более широкому и повсеместному использованию возобновляемых источников энергии: оно и проводится во многих государствах совместно с политикой принятия обязательств по низкоуглеродному развитию.

2. Производство электроэнергии в эпоху 4-ого перехода показывает снижение доли использования органических топлив (особенно нефти) и увеличение доли возобновляемых ресурсов. Вклад низкоуглеродных технологий производства энергии составляет около 36%.

3. Общая установленная мощность ВЭС в мире за последние 10 лет увеличилась более чем в 5 раз и достигла в 2020 году мощности 721 ГВт с ежегодным приростом 50-60 ГВт в год.

4. Развитие солнечной фотоэнергетики происходит еще более стремительно: за 10 лет мощность увеличилась более чем в 17 (!) раз до 715 ГВт с ежегодным приростом мощности 90-100 ГВт, а в 2020 году прирост составил 130 ГВт.

5. Российская программа развития ВИЭ фактически стартовала с принятия «Программы ДПМ ВИЭ 1.0» в 2013 года, которая предусматривает ввод к 2024 году 5,8 ГВт мощностей ВИЭ; в т.ч. будет введено: ВЭС - 3,4 ГВт, СФЭС - 2,2 ГВт и МГЭС - 0,2 ГВт. По состоянию на конец 2020 года введено более 1500 МВт на СФЭС, около 1025 МВт на ВЭС, причем в 2020 году введено 908 МВт. На малых ГЭС введено около 70 МВт.

6. Доля производства электроэнергии от ветровой и солнечной энергетики в 2020 году в России составила около 0,55% от общего производства, но в совокупности низкоуглеродные технологии производства энергии обеспечивают около 37% от общего производства, что свидетельствует о соответствии вклада России в тренды мирового низкоуглеродного развития.

Литература

1. REN21: Renewables 2020. Global status report: <https://www.ren21.net/>.
2. Global and Russian Energy Outlook 2019 / ed. A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin; – Moscow, 2019. – 210 p. - ISBN 978-5-91438-029-5.
3. Statistical Review of World Energy: <https://www.bp.com/>.
4. International Energy Agency: <https://www.iea.org/>.
5. Bloomberg NEF (BNEF) <https://www.bloomberg.com/>.
6. Global Energy Statistical Yearbook <https://yearbook.enerdata.net/>.

*Представлено Санкт-Петербургским
политехническим университетом
имени Петра Великого*

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ХУДУДИДА ЖОЙЛАШГАН
МЕТЕОРОЛОГИК СТАНЦИЯЛАРНИНГ ҚИСҚАЧА ТАҲЛИЛИ****Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, М.Х. Дехконова**

Иқлим ўзгариши билан боғлиқ ортиб бораётган глобал муаммоларнинг олдини олиш ва оқибатларини юмшатиш мақсадида Ўзбекистон Республикаси Олий Мажлиси Қонунчилик палатаси томонидан БМТнинг Иқлим ўзгариши тўғрисидаги доиравий конвенцияси “Париж битимини (Париж, 2015 йил 12 декабрь) ратификация қилиш тўғрисида”ги қонуннинг қабул қилиниши Ўзбекистон учун қатор имкониятларни тақдим этади. Бу борада, қайта тикланадиган энергия манбаларини ривожлантириш, ер-сув ресурсларини бошқаришни яхшилаш, салбий экологик оқибатлар (Орол фожiasi, чўлланиш, қургоқчилик)га қарши курашиш қабилар мазкур ҳужжатда кўзда тутилган асосий вазифалар ҳисобланади. Ўз навбатида, пассив иситиш ва совутиш тизимлари, бино ва иншоотларни лойиҳалаштириш ва қуриш, қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энергетик тизимлар ва қурилмаларни лойиҳалаштириш, режаслаштириш ва ўрнатиш олди ҳисоб-китобларни амалга ошириш, уларнинг ишлаб чиқариш қувватини юқори аниқликда илмий башиоратлашда муайян ҳудуд учун иқлимий ҳамда актинометрик катталиклар бўйича маълумотларга эга бўлиш муҳим ҳисобланади. Бундай маълумотларни олишда бевосита ушбу ҳудудда, ёки мазкур ҳудудга яқин нуқтада жойлашган метеорологик станцияларнинг архивларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ. Мақолада Ўзбекистон Республикаси ҳудудида мавжуд бўлган метеорологик станциялар архив маълумотларининг таҳлили келтирилган бўлиб, танланган ҳудудда илмий тадқиқотлар олиб бориш учун ҳудуд яқинида мавжуд ва тадқиқот ўтказиш учун яроқли метеостанциялар ҳамда улардан олиш мумкин бўлган параметрлар тўғрисида маълумот олиш имконини берувчи географик харита таклиф қилинган. Шунингдек, Ўзбекистон Республикаси ҳудудида жойлашган, ҳамда халқаро маълумотлар тармоғига уланган, шу билан бирга, ўлчашлар ҳар уч соатда амалга ошириладиган 30 та (ўлчашлар даври 2015-2020 йй.), ҳар 30 минутда – 11 та (ўлчашлар даври 2012-2020 йй.), ҳар суткада – 48 та (ўлчашлар даври 1945-2020 йй.) метеостанциялар ва ўлчаш қадами 10 минутни ташкил этувчи 6 та (ўлчашлар даври 2013-2017 йй.) актинометрик метеостанциялар таҳлил қилинган. Таҳлилларда метеостанция ўлчашларининг архив маълумотларини интернет сайтларидан топиш имкониятлари, маълумотлар орқали аниқлаш мумкин бўлган муайян ҳудуднинг иқлимий катталиклар турлари (хаво ҳарорати, намлиги ва

босми, шамол тезлиги ва ҳ.к.) ва уларнинг даврийлиги ҳақидаги ишончли маълумотлар келтирилган.

Одобрение Законодательной палатой Олий Мажлиса Республики Узбекистан Рамочной конвенции ООН об изменении климата принятием Закона «О ратификации Парижского соглашения (Париж, 12 декабря 2015 г.)» предоставляет Узбекистану ряд возможностей для предотвращения растущих глобальных проблем, связанные с изменением климата, а также смягчения их последствий. При этом, основными задачами, предусмотренными в этом документе, являются развитие возобновляемых источников энергии, улучшение управления земельными и водными ресурсами, борьба с негативными экологическими последствиями (трагедия Аральского моря, опустынивание, засуха). В свою очередь, при проектировании и строительстве систем пассивного отопления и охлаждения зданий и сооружений, в планировании и предпроектных расчетах энергосистем и устройств на основе возобновляемых источников энергии, для высокоточного научного прогнозирования, наличие исходных актинометрических данных является актуальным. Для получения этих данных рекомендуется использовать архивы метеорологических станций, расположенных непосредственно в этом районе или в точке, близкой к этому району. В статье представлен анализ архивных данных о метеостанциях, расположенных на территории Республики Узбекистан, также географическая карта, представляющая возможность получения информации о существующих и пригодных для проведения исследований метеостанциях в выбранном районе и их параметрах. Проанализирована работа ряда метеостанций: 30 с шагом измерения каждые 3 часа (период наблюдений 2015-2020 гг.), 11 с шагом измерения каждые 30 минут (период наблюдений 2012-2020 гг.), 48 с суточным шагом измерения (период наблюдений 1945-2020 гг.) расположенных на территории Республики Узбекистан и подключенных к международной базе данных, а также 6 актинометрических станций с шагом измерения каждые 10 минут (период наблюдений 2013-2017 гг.). В проведенном анализе показана возможность нахождения архивных данных метеорологических измерений на интернет-сайтах, климатических величин конкретной местности (температура, влажность воздуха и атмосферное давление, скорость ветра и т.д.), а также их периодичность, которые можно определить по полученным данным.

The adoption by the Legislative Chamber of the Oliy Majlis of the Republic of Uzbekistan of the UN Framework Convention on Climate Change "On the Ratification of the Paris Agreement (Paris, December 12, 2015)" provides Uzbekistan with a number of opportunities to prevent growing global

problems related to climate change, as well as to mitigate their consequences. At the same time, the main tasks provided for in this document are the development of renewable energy sources, improving the management of land and water resources, and combating negative environmental consequences (the tragedy of the Aral Sea, desertification, and drought). In turn, in the design and construction of passive heating and cooling systems of buildings and structures, design, planning and pre-design calculations of power systems and devices based on renewable energy sources, high-precision scientific forecasting of their production capacity, the availability of initial actinometric data is relevant. To obtain this data, it is recommended to use the archives of weather stations located directly in this area or at a point close to this area. The article presents an analysis of archival data of weather stations located on the territory of the Republic of Uzbekistan, as well as a geographical map, which provides an opportunity to obtain information about existing and suitable for research weather stations in the selected area and their parameters. Also analyzed are 30 weather stations with a measurement step every 3 hours (observation period 2015-2020), 11 with a measurement step every 30 minutes (observation period 2012-2020), 48 with a daily measurement step (observation period 1945-2020) located on the territory of the Republic of Uzbekistan and connected to the international database, as well as 6 actinometric stations with a measurement step every 10 minutes (observation period 2013-2017). The analysis shows the possibility of finding archived data of meteorological measurements on Internet sites, the climatic values of a particular area (temperature, humidity and atmospheric pressure, wind speed, etc.), as well as their frequency, which can be determined from the data.

Бугунги кунда, иқлим ўзгариши натижасида юз бераётган табиий офатлар бутун дунёга ўз таъсирини кўрсатиб келмоқда. Маълумотларга кўра, атмосферага чиқариладиган иссиқхона газлари ҳажми тобора катталашиб, ҳозирги кунда 1990 йилга нисбатан қарийб 50%га ошган [1]. Ер ҳароратининг кўтарилиши иқлим тизимида салбий таъсир кўрсатиб, қайтариб бўлмайдиган оқибатларга олиб келиши мумкинлиги исботланган.

Бугунжаҳон метеорология ташкилоти маълумотларига кўра, бугунги кунгача глобал йиллик ўртача ҳаво ҳарорати 1880 йилдаги даражадан 1,2°C га ортган [2]. Ўзбекистонда эса худди шу давр учун ўртача йиллик ҳаво ҳарорати 1,6°C га (13,2 дан 14,8°C га) кўтарилди [3]. Ҳозирги кунда бутун дунёда таъсири сезилаётган ушбу экологик муаммонинг сабаби атмосферада иссиқхона газлари миқдорининг ортишидир. Бу эса, ўз навбатида, экспертлар фикрича, ижтимоий-иқтисодий муаммоларнинг ортиши билан иқтисодиёт тармоқларида мазкур соҳада тезкор ечимлар қабул қилишни тақозо қилади.

Иқлим ўзгариши билан боғлиқ ўсиб бораётган глобал таҳдидларга комплекс жавоб қайтариш мақсадида 2015 йил 12 декабрда қабул қилинган Париж битими талабларига жавоб тариқасида, Ўзбекистон Республикаси ҳам, ЯИМ углерод ҳажмдорлигини 2030 йилда 2010 йилдагига нисбатан 10% га камайтириш мажбуриятини олди [4]. Ушбу мажбуриятни бажариш, иқлим ўзгаришлари оқибатларини бартараф этиш йўлида мамлакат ёқилғи-энергетика мажмуасини углерод ёқилғиларига қарамлигини камайтириш бугунги куннинг долзарб вазифаларидан биридир.

Бу соҳада, республика энергетика сиёсатида амалга оширилаётган ислохотларнинг ўрни бекиёс. Жумладан, замон билан ҳамнафас бўлган ҳолда ёқилғи-энергия ресурсларини тежаш, энергия манбаларини диверсификациялаш, энергия тизимларини интеллектуализациялаш каби барқарор ривожланиш мақсадларига эришиш йўлида энергетика соҳасида қайта тикланувчи энергия манбалари улуши салмоғини ошириб бориш бугуннинг муҳим вазифаларидан бири эканлигини таъкидлаш муҳим [5-7].

Белгиланган мақсадларга эришиш учун, республикада деярли 10 ГВт қувватли қайта тикланадиган энергия иншоотлари, шу жумладан 5 ГВт қувватли қуёш (якка тартибдаги уй хўжаликлари имкониятларини ҳисобга олмаганда), 3 ГВт қувватли шамол ва 1,9 ГВт қувватли гидроэлектр станциялари қуриш режалаштирилган [8].

Мавжуд муаммо. Маълумки, пассив иситиш ва совутиш тизимлари, бино ва иншоотларни лойиҳалаштириш ва қуриш, қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энергетик тизимлар ва қурилмаларни лойиҳалаштириш, режалаштириш ва ўрнатиш олди ҳисоб-китобларни амалга ошириш, уларнинг ишлаб чиқариш қувватини юқори аниқликда илмий башоратлашда муайян ҳудуд учун иқлимий ҳамда актинометрик катталиклар бўйича маълумотларга эга бўлиш муҳим ҳисобланади. Бундай маълумотларни олишда бевосита ушбу ҳудудда, ёки мазкур ҳудудга яқин нуқтада жойлашган метеорологик станцияларнинг архивларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ [9].

Қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги қурилмаларни лойиҳалаштириш ва режалаштиришда, белгиланган микдордаги электр ва иссиқлик энергиясини олиш учун энергия қурилмалари ва тизимларининг ишлаб чиқариш қувватларини олдиндан илмий башоратлаш мақсадида олдиндан белгиланган жойларда метеостанцияларни жойлаштириш жуда муҳим ҳисобланади. Метеостанцияларни жойлаштириш методикаси О.С. Попель ва бошқалар томонидан [10] таклиф этилган бўлиб, мазкур услубият орқали уларни танланган географик нуқта атрофида жойнинг географик хусусиятларини инобатга олган ҳолда (жойнинг географик кенлиги, қуёш баландлиги, атмосферанинг тозалиги, булутлилики ва б.) “Учбурчак усули”да жойлаштириш, мавжуд метео ва актинометрик

станциялар маълумотларини 50...130 км гача бўлган масофага узатиш мумкин. Таъкидлаш керакки, мазкур масофа жой рельефига тўғридан-тўғри боғлиқ, яъни, ушбу оралик текислик бўлган ҳудудлар учун яроқли, аксинча, тоғли ҳудудларда кузатишлар олиб боришда метеостанцияларни 50 км дан кам масофага ўрнатиш талаб этилади, чунки 50 км дан ортиқ масофада ўрнатилган метеостанция маълумотлари мазкур ҳудуд учун аниқ маълумотлар олиш имконини бермайди (ўлчаши хатоликлари даражаси юқори бўлади).

Юқорида келтирилган маълумотлардан кўринадикки, ишончли ва аниқ илмий тадқиқот олиб бориш учун танланган географик нуқтанинг иқлим ва актинометрик кўрсаткичларини баҳолашда, метеостанциянинг мазкур нуқтадан қанча масофада жойлашганлиги, жойнинг географик (жой рельефи), иқлимий (булутлилиқ) каби хусусиятлари ҳамда ушбу метеостанциялар кузатувлари архив маълумотларининг даврийлиги муҳим ўрин тутди.

Муаммони ҳал этиш усули. Ўзбекистон ҳудудида дастлабки иқлимий кузатувлар 1867 йил Тошкент шаҳрида ташкил этилган биринчи “Тошкент-обсерватория”си бошланган. Ҳозирги кунда Гидрометеорология хизмати маркази (Ўзгидромет) республикада гидрометеорология соҳасидаги масалаларни ҳал этиш бўйича махсус вакилолатга эга давлат бошқарув органи ҳисобланади. Ўзгидромет маълумотларига кўра [11], шу кунга келиб республика ҳудудида турли мақсадларга мўлжалланган 120 дан зиёд метеостанция мавжуд бўлиб, уларда мамлакатнинг барча минтақаларидаги ташқи ҳавонинг максимал, минимал ва ўртача кунлик ҳарорати, атмосфера босими, намлик, шамол тезлиги ва йўналиши, тўғри тушувчи, тарқоқ ва йиғинди қуёш нурланиши каби иқлимий ва актинометрик кузатишлар олиб борилади. Таъкидлаш жоизки, республика ҳудудидаги кўплаб метеостанциялар метеорологик ахборот алмашувининг халқаро метеостанциялари рўйхатига киритилган.

Мазкур метеостанциялардан олинган кўп йиллик ўлчов маълумотлари архивлари “Расписание Погоды” МЧЖ томонидан ишлаб чиқилган ва техник қўллаб-қувватланадиган махсус сайтда [12] ҳамда “Погодные сервисы” сайтларида [13] жойлаштирилган бўлиб, зарур маълумотларни реал вақт мобайнида олиш имконини беради.

Айрим метеостанция маълумотлари иқлимий ва актинометрик кўрсаткичлар билан боғлиқ илмий тадқиқотлар олиб бориш учун яроқли бўлиб, улар муайян ҳудудда қуёш, шамол энергиясининг салоҳияти бўйича юқори аниқликдаги башорат кўрсаткичларини олдиндан аниқлаб бериш имкониятига эга. Баъзи метеостанцияларда эса, иқлим ва актинометрик кўрсаткичларни кузатиш қадамининг катталиги (фақатгина метеокузатувлар мақсадида) туфайли, Башоратлаш ва Илмий тадқиқот марказларида қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги қурилмаларни лойиҳалаштириш, улар асосидаги энергия тизимларининг

ишлаб чиқариш қувватларини илмий башоратлаш, мазкур тизимларни режалаштириш бўйича кўрсаткичларини аниқлаш имконини бермаганлиги учун улардан фойдаланилмайди.

Шу боис, мазкур мақолада, республикада ҳудудида (37,23 ш.к. 67,26 ш.у. – 44,83 ш.к 71,58 ш.у.) мавжуд бўлган, иқлимий ҳамда актинометрик кузатишлар олиб бориладиган метеостанциялар архив маълумотларини илмий тадқиқотлар ўтказиш талабларига мувофиқ ҳолда таҳлил қилишга уриниб кўрилган.

Олинган натижалар ва уларнинг таҳлили. Юқорида айтиб ўтилганларга асосланган ҳолда, Республика ҳудудида мавжуд бўлган ва маълумотлари интернет сайтларида очик жойлаштирилган метеостанциялар таҳлил қилинди, бунда асосан асосан [12] ва [13] да келтирилган сайтлардан фойдаланилди.

“Погодные сервисы” сайтидаги очик маълумотлардан фойдаланилган ҳолда Ўзбекистон Республикаси ҳудудида мавжуд метеостанцияларининг муаллифлар томонидан ўтказилган таҳлили 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Илмий тадқиқотлар ўтказиш учун яроқли ва ЎзР ҳудудида мавжуд метеостанциялар таҳлили (“Погодные сервисы” сайти маълумотлари асосида)

№	Метеостанция номи	Жойлашган ўрни	Географик координаталари			Ўлчаш қадами	Биринчи кузатув	Охириги кузатув	Ўлчанадиган катталиклар
			кенглик (°)	узунлик (°)	Денгиз сатҳидан баландлик (м)				
1	Оқбайтал	Навоий	43,15	64,33	237	Ўртача кунлик	03.02.1957	31.12.2020	Тх, Тн, Тўр, Ро, FF, RRR, T _ф
2	Окработ	Қашқада рё	38.25	66.83	1579		15.01.1973	27.03.1998	
3	Андижон	Андижон	40,71	72,28	477		08.01.1973	30.12.2020	
4	Оёқогитма	Бухоро	40,68	64,48	219		29.12.1960	30.12.2020	
5	Бойсун	Сурхондарё	38,20	67,20	1241		26.09.1962	26.09.1962	
6	Белеули	Қорақалпоғистон	44.53	56.76	203		12.01.1961	11.02.1974	
7	Бухоро	Бухоро	39,76	64,48	226		06.07.2004	30.12.2020	
8	Бузаубай	Навоий	41,75	62,46	98		01.01.1960	30.12.2020	
10	Ғузор	Қашқада рё	38,61	66,26	523		09.04.1948	10.01.1982	

АЛТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

11	Денов	Сурхон-дарё	38,20	67,90	516	15.12.1960	27.03.1998
12	Жонгелди	Бухоро	40.51	63.20	208	16.12.1960	10.03.1998
13	Жангир	Сурхон-дарё	40.21	68.83	362	23.02.1953	06.01.1982
14	Жаслик	Қорақал - поғистон	43,88	57,51	128	09.08.1974	30.12.2020
15	Жиззах	Жиззах	41,01	70,50	345	01.07.1949	31.12.2020
16	Ғарбий Арнасой	Жиззах	40.83	67.66	250	01.01.1959	30.12.1963
17	Зарафшон	Навоий	41.61	64.23	417	10.11.2006	25.06.2013
18	Қорақал-поғистон	Қорақал - поғистон	44.85	56.33	126	10.09.1959	27.03.1998
19	Қоракўл	Бухоро	39,50	63,85	196	02.02.1962	02.02.1962
20	Қарши хонобод	Қашқада рё	38,50	65,55	416	12.02.2006	31.12.2020
21	Қарши	Қашқада рё	38,80	65,70	377	16.01.1973	31.12.2020
22	Койке	Қорақал - поғистон	44,01	58,23	157	24.10.1973	24.10.1973
23	Қўқон	Фарғона	40,55	70,95	405	16.12.1960	07.01.1982
24	Қўнгирот	Қорақал - поғистон	43,10	58,90	64	09.04.1948	31.12.2020
25	Қулқудук	Навоий	42,53	63,28	333	10.04.1961	12.10.1991
26	Маши-кудук	Навоий	41,10	70,50	2140	15.12.1960	10.03.1998
27	Минг-чукур	Навоий	38,65	66,93	274	03.07.1961	10.03.1998
28	Мыс Тигровый	Қорақал - поғистон	43,93	58,73	54	04.01.1961	17.09.1980
29	Навоий	Навоий	40,01	65,40	340	11.01.1962	31.12.2020
30	Шим. Наманган.	Наман-ган	40.98	71.58	476	06.07.2004	04.10.2005
31	Наманган	Наман-ган	41,60	71,60	468	01.07.1949	31.12.2020
32	Нукус	Қорақал - поғистон	42,48	59,61	75	26.12.1960	31.12.2020
33	Нукус Қорақал-поғистон	Қорақал - поғистон	42,48	59,63	75	13.07.2004	31.12.2020
34	Нурота	Навоий	40,55	65,68	485	01.07.1949	31.12.2020
35	Олгайинг	Тошкент вилояти	42.16	70.88	2107	22.03.1973	10.03.1998
36	Пскем	Тошкент вилояти	41,90	70,40	1256	10.01.1973	31.12.2020
37	Самарқанд	Са-марқанд	39,60	67,00	726	27.02.1948	31.12.2020
38	Сирдарё	Сирдарё	40,81	68,68	263	11.05.1961	31.12.2020

39	Томди	Навоий	41,73	64,61	236	02.01.1961	31.12.2020
40	Тошкент	Тошкент	41,35	69,31	486	05.01.1933	31.12.2020
41	Шаркий Тошкент	Тошкент	41,31	69,40	477	11.04.2005	03.08.2011
42	Термиз	Қашқада рё	37,23	67,26	311	13.03.1948	31.12.2020
43	Урганч	Хоразм	41,60	64,60	100	05.01.1948	31.12.2020
44	Шимолий Урганч	Хоразм	41.58	60.63	98	13.07.2004	31.12.2020
45	Чимбой	Қорақал - поғистон	42,90	59,80	65	04.07.1936	31.12.2020
46	Фарғона	Фарғона	40,36	71,77	577	12.01.1948	31.12.2020
47	Шахри- сабз	Қашқада рё	39,20	67,10	625	22.07.2008	22.08.2011
48	Шеробод	Сурхон- дарё	37,70	67,00	416	21.10.1961	06.01.1982

1-жадвалдан кўринадик, “Погодные сервисы” сайти маълумотларига кўра, мамлакат ҳудудида 48 та метеостанция мавжуд бўлиб, уларда максимал ҳарорат – T_x , минимал ҳарорат – T_n , ўртача ҳарорат – $T_{\text{ўр}}$, атмосфера босими – P_0 , шамолнинг тезлиги – FF , ёгингарчилик миқдори – RRR , Эффе́ктив ҳарорат – $T_{\text{эф}}$ каби катталиклар кузатиб борилади.

Айрим метеостанцияларда олиб борилган дастлабки кузатишлар 1933-1936 йиллардан бошланган бўлиб, (Тошкент, Чимбой) муайян ҳудуддаги иқлимий ва актинометрик катталикларнинг ўртача кунлик қийматларини ўлчаш ҳозирги кунга қадар давом эттирилмоқда.

Бундан ташқари, Ўзбекистон ҳудудида жойлашган айрим метеостанциялар (хусусан, стратегик муҳим объектлар яқинида ўрнатилганлари) маълумотлари “Погодные сервисы” сайтида мавжуд эмас. Ушбу маълумотларни “Расписание Погоды” МЧЖ сайтидан олиш мумкин (2-жадвал).

2-жадвалда берилган метеостанцияларнинг WMO_ID коди ҳарфлар орқали берилганлари стратегик муҳим объектлар, яъни аэропортлар ҳудудларида жойлашган метеостанциялар бўлиб, улар тўлиқ автоматлаштирилган, маълумотларни ўлчаш ҳар ярим соатда олиб борилади. WMO_ID коди рақамлардан иборат бўлган метеостанциялар аэропорт ҳудудига яқин жойлашган метеостанциялар бўлиб, маълумотларни ўлчаш давомийлиги ҳар 3 соатни ташкил қилади.

2-жадвал

АЛТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Илмий тадқиқотлар ўтказиш учун яроқли ва ЎзР ҳудудида мавжуд метеостанциялар таҳлили (“Расписание Погоды” МЧЖ сайти маълумотлари асосида)

№	WMO_ID	Метеостанция номи	Жойлашган ўрни	Географик координаталари			Ўлчаш қадами	Биринчи кузатув	Охириги кузатув	Ўлчабанд қилган катталиклар
				Кенглик (°)	Узунлик (°)	Денгиз сатҳидан баландлиги (м)				
1	38141	Жаслик	Қорақалпоғистон	43,88	57,51	128	хар 3 соатда	01.02.2005	31.12.2020	T, Po, P, DD, FF, N, W1, W2, Tx, Tn, Cl, Nh, H, Cm, Ch, VV, Td, E, Tg, E', SSS
2	38178	Оқбайтал	Навоий	43,01	64,33	233		01.02.2005	31.12.2020	
3	38545	Дарғаната	Туркманистан	40,46	62,28	143		01.02.2005	31.12.2020	
4	38579	Жиззах	Жиззах	40,01	67,83	345		01.02.2005	31.12.2020	
5	38553	Оёқоғитма	Бухоро	40,68	64,48	219		01.02.2005	31.12.2012	
6	38711	Санзар	Жиззах	39,71	68,01	1308		01.01.2013	31.12.2020	
7	38467	Қамчик	Наманган	41,1	70,5	2145		01.02.2005	31.12.2020	
8	38023	Қорақалпоғистон	Қорақалпоғистон	44,85	56,33	126		01.02.2005	31.12.2012	
9	38149	Қўнғирот	Қорақалпоғистон	43,00	58,93	64		01.01.2013	31.12.2020	
10	38146	Муйноқ	Қорақалпоғистон	43,77	59,01	55		01.02.2005	31.12.2012	
11	38262	Чимбой	Қорақалпоғистон	42,95	59,81	66		01.02.2005	31.12.2012	
12	38708	Северцов музлиги	Қашқа-дарё	39,12	67,65	1981		01.02.2005	31.12.2012	
13	38403	Бузаубай	Навоий	41,75	62,46	98		01.02.2005	31.12.2012	
14	38565	Нурота	Навоий	40,55	65,68	485		01.02.2005	31.12.2012	
15	38413	Томди	Навоий	41,73	64,62	238		01.02.2005	31.12.2012	
16	38583	Сирдарё	Сирдарё	40,81	68,68	264		01.02.2005	31.12.2012	
17	38706	Чимён	Тошкент	41,33	70,02	1800		01.02.2005	31.12.2012	
18	38601	Юбилейная	Андижон	40,48	71,58	397		01.02.2005	31.12.2012	
19	38462	Пскем	Тошкент	41,9	70,36	1214		01.01.2014	31.12.2020	
20	38927	Термиз	Сурхон-дарё	37,28	67,3	312		01.02.2005	31.12.2010	
21	38475	Андижон	Андижон	40,72	72,28	477		01.01.2012	31.12.2020	
22	38683	Бухоро	Бухоро	39,76	64,48	225		01.02.2005	31.12.2020	
23	38812	Қарши	Қашқа-дарё	38,8	46,76	377		01.02.2005	31.12.2020	

24	38567	Навоий	Навоий	40,11	65,16 7	346		01.02.2005	31.12.2020	
25	38611	Наманган	Наманган	40,98	71,55	474		01.02.2005	31.12.2020	
26	38264	Нукус	Нукус	42,48	59,61	75		01.02.2005	31.12.2020	
27	38696	Самарканд	Самар-канд	39,56	66,95	724		01.02.2005	31.12.2020	
28	38457	Тошкент	Тошкент	41,26	69,26	489		01.02.2005	31.12.2020	
29	38618	Фарғона	Фарғона	40,36	71,75	577		01.02.2005	31.12.2020	
30	38396	Урганч	Хоразм	41,58	60,63	98	01.02.2005	31.12.2020	хар 0,5 соатда	T, Po, P, DD, FF, U, e, W, Td
31	UTST	Термиз	Сурхон-дарё	37,28	67,3	312	26.09.2012	31.12.2020		
32	UTKA	Андижон	Андижон	40,72	72,28	477	01.01.2012	31.12.2020		
33	UTSB	Бухоро	Бухоро	39,76	64,48	225	26.09.2012	31.12.2020		
34	UTSK	Карши	Қашка-дарё	38,8	46,76	377	01.02.2005	31.12.2020		
35	UTSA	Навоий	Навоий	40,11	65,16 7	346	01.02.2005	31.12.2020		
36	UTFN	Наманган	Наманган	40,98	71,55	474	01.02.2005	31.12.2020		
37	UTNN	Нукус	Нукус	42,48	59,61	75	26.09.2012	31.12.2020		
38	UTSS	Самарканд	Самар-канд	39,56	66,95	724	26.09.2012	31.12.2020		
39	UTTT	Тошкент	Тошкент	41,26	69,26	489	01.02.2005	31.12.2020		
40	UTFF	Фарғона	Фарғона	40,36	71,75	577	26.09.2012	31.12.2020		
41	UTNU	Урганч	Хоразм	41,58	60,63	98	26.09.2012	31.12.2020		

2-жадвалдан кўринадики, “Расписание Погоды” МЧЖ сайтида “Погодные сервисы” сайтида мавжуд бўлмаганларидан ташқари (Дарганата, Жаслик, Санзар, Қамчик, Мўйноқ, Северцов музлиги, Юбилейная, Чимён), стратегик муҳим объектлар – аэропортлар ҳудудида ва унга яқин ҳудудларда ўрнатилган метеостанцияларнинг маълумотлари келтирилган.

Мазкур метеостанцияларда келтирилган маълумотларнинг аҳамиятлилиги ташқи ҳаво ҳарорати – T, ўртача денгиз сатҳига келтирилган атмосфера босими – P, ер сиртидан 10-12 метр баландликда шамол йўналиши – DD, SSS – қор қатлами баландлиги, 10 дақиқада шамол тезлигининг эришган қиймати – FF10, энг пастки булутлар қуйи чегарасининг баландлиги – H, кўришнинг горизонтал узоклиги – VV, ердан 2 метр баландликдаги нисбий намлик – U, барча кузатиладиган булутлар микдори – Nh, тўғридан-тўғри тушувчи қуёш нурланиши - RSP,

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

жорий об-ҳавога тегишли алоҳида ҳодисалар – W , W , W каби катталикларнинг аниқланиши билан боғлиқдир.

Бундан ташқари, мамлакат ҳудудида юқорида келтирилган сайтларда мавжуд бўлмаган, бироқ, 2013 йилда ОТБнинг UZBTA 8008 “Ўзбекистон Республикаси: қуёш энергетикасини ривожлантириш” лойиҳаси [14] доирасида ўрнатилган тўлиқ автоматлаштирилган 6 та метеостанция мавжуд (3-жадвал).

3-жадвалдан кўринишича, мазкур метеостанцияларда улар ўрнатилган ҳудудлардаги иқлимий ва актинометрик кузатишлар (ташқи ҳаво ҳарорати – T , атмосфера босими – P_0 , ердан 2 метр баландликдаги нисбий намлик – U , тўғридан-тўғри тушувчи нормал қуёш нурланиши – RSP , горизонтал юзага тушувчи йиғинди қуёш нурланиши – GHI , горизонтал юзага тўғри тушувчи қуёш нурланиши – DNI , шамолнинг тезлиги – FF , ер сиртидан 10-12 метр баландликда шамол йўналиши – DD , ёғингарчилик миқдори – RRR ,) 2013 йил февраль ойидан 2018 йил февраль ойига қадар олиб борилган. Мазкур метеостанцияларнинг архив маълумотлари ЎзР ФА нинг Физика-техника институтида мавжуд ва улардан олинган маълумотлар базалари ЎзР ИМА томонидан ЭХМ учун маълумотлар базаси сифатида рўйхатдан ўтказилган [15].

3-жадвал

ЎзР ҳудудида ОТБ кўмагида ўрнатилган метеостанциялар ҳақида
маълумот

№	Метео- станция номи	Жойлашган ўрни	Географик координа- талари			Ўлчаш қадами	Биринчи кузатув	Охириги кузатув	Ўлча- на дитган- катталикл лар
			Кенглик (°)	узунлик (°)	Денгиз сатҳидан баландлиг ини (м)				
1	Кармана	Навоий	40,13	65,35	341	хар 10 минутда	30.01.2013	30.01.2018	Т, P_0 , U , DD , FF , RSP , RRR
2	Ўзгор	Қашқадарё	38,61	66,25	524		31.01.2013	31.01.2018	
3	Шеробод	Сурхондарё	37,60	67,00	396		01.02.2013	01.02.2018	
4	Дағбит	Самарканд	39,75	66,91	641		02.02.2013	01.02.2018	
5	Поп	Тошкент вилояти	40,87	71,11	446		02.02.2013	01.02.2018	
6	Паркент	Тошкент вилояти	41,18	69,44	1075		06.02.2013	01.02.2018	

Хулоса. Юқорида келтирилган маълумотларни умумлаштириш натижасида, қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасини ривожлантириш борасида олиб бориладиган илмий тадқиқотлар учун яроқли бўлган, мамлакат ҳудудида жойлашган актинометрик ва иқлимий кузатувлар станциялари жойлашувини визуаллаштириш мақсадида рақамли харита шаклига келтирилди (1-расм).



1-расм. ЎзР ҳудудида мавжуд ва илмий тадқиқотлар олиб бориш учун яроқли бўлган метеорологик станцияларнинг мамлакат ҳудудида жойлашув харитаси

1-расмда келтирилган харита ёрдамида, ихтиёрий тадқиқотчилар гуруҳи томонидан танланган ҳудудда илмий тадқиқотлар олиб боришда зарур дастлабки маълумотларни олишда мазкур ҳудуд яқинидаги тадқиқотга яроқли метеостанция маълумотларидан фойдаланиш зарурлиги белгилаб олинади. Бу эса ўз навбатида мамлакатда энергия таъминоти ишончилигининг ўсишига олиб келади, шунингдек, тизимнинг таркиби ва салоҳиятини оптималлаштириш, марказдан узоқ ҳудудларда муносиб қайта тикланувчи энергия тизимини танлаш, қайта тикланувчи энергия манбалари технологиялари ва қурилмаларини лойиҳалаштириш, режалаштириш, жорий этишда янги ёндашувларни аниқлаш, иқтисодий харажатларни камайтириш ва умуман, энергия самарадорлигини ошириш имконини юзага келтиради.

Адабиёт

1. Электрон манба: <https://www.uz.undp.org/content/uzbekistan/uz/home/post-2015/sdg-overview/goal-13.html>
2. Электрон манба: <https://news.un.org/ru/story/2020/12/1391602>
3. Третье национальное сообщение Республики Узбекистан по рамочной конвенции ООН об изменении климата. Ташкент, 2016. – С.246.
4. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 4 октябрдаги “2019-2030-йиллар даврида Ўзбекистон Республикасининг “яшил” иқтисодиётга ўтиш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида” ги ПҚ-4477 сонли қарори.

5. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги “2017 – 2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида” ги ПҚ-3012 сонли қарори.

6. Ўзбекистон Республикасининг “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида” ги ЎРҚ-539-сонли қарори.

7. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 августдаги “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида” ПҚ-4422 сонли қарори

8. Авезова Н.Р., Далмурадова Н.Н., Халтурсунов Э.Б., Матчанов Н.А. Экологические аспекты развитие возобновляемых источников энергии в Узбекистане// Инновационные технологии, (спецвыпуск), 2020-С, 75-81.

9. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016.

10. Попель О.С., Фрид С.Е., Киселова С.В., Коломиец Ю.Г., Лисицкая Н.В.. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных) // Учебное пособие. Москва 2010.

11. Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати марказининг расмий саҳифаси. Электрон манба: <https://www.meteo.uz/#/uz/open-data/meteostations>.

12. Электрон манба: <https://rp5.ru>.

13. Электрон манба: <http://pogoda-service.ru>.

14. UZBTA 8008 ABR “Solar Energy Utilization in Uzbekistan: Development Trends,” 2013–2017, pp. 109–121.

15. Авезова Н.Р., Фрид С.Е., Лисицкая Н.В., Рахимов Э.Ю. Ўзбекистон Республикаси ҳудудлари учун узоқ муддатли сунъий йўлдош ва ер усти кузатувлари ҳамда реанализига асосланган актинометрик ва иқлимий маълумотлар базаси. № BGU 00374, 11.04.2019.

*ЎзР ФА Физика-техника институти
томонидан тақдим этилган*

UDC 620.97

EFFECTIVE UTILIZATION OF TRADITIONAL RENEWABLE ENERGY**M. Zheng, Y. Wang, H.P. Teng**

Анъанавий қайта тикланадиган энергетикадан фойдаланиш - бу энергия инқирози ва паст углеродли ривожланиш глобал жараёни муаммосини ҳал қилиш учун оддий қулай ва арзон усул. Анъанавий қайта тикланадиган энергетика қуёш энергияси, шамол энергетикаси ва гидравлик энергия ва бошқаларни ўз ичига олади, анъанавий қайта тикланадиган энергиядан самарали фойдаланиш нархини янада пасайтириш ва энергия самарадорлигини ошириш учун муҳимдир. Шамол энергиясига келсак, шамол тегирмонининг конструктив дизайни муҳим масала бўлиб, иссиқлик энергиясини сақлаш материаллари иссиқлик энергиясини, айниқса Қуёшдан созлаш учун муҳим ўлчовдир. Ушбу мақолада, ўзгартирилган Савониус вертикал ўқи шамол турбинаси ва иссиқлик энергиясини сақлаш материалининг мақбул конструктив дизайни бўйича ютуқлар ва ривожланиш, тегишли тадқиқотларга аниқ шарҳ бериш учун тақдим этилган. Симуляция натижалари таҳлил қилиниб, модификацияланган Савониуснинг оптимал дизайнидаги янги Олтин нисбати бўлими бўлган ҳар бир ўзгартирилган Савониус учун қатъийлик қиймати 0,609 га тенг бўлганда максимал қувват коэффитсиенти мавжудлигини кўрсатди ва универсал Олтин нисбати бўлимининг рақамига яқин, 0,618; фазани ўзгартириш материаллари Қуёшдан иссиқлик энергиясини ростлашни амалга ошириш учун жуда самарали ҳисобланади.

Использование традиционных возобновляемых источников энергии - простой удобный и недорогой подход к решению проблемы энергетического кризиса и глобального процесса низкоуглеродного развития. Традиционная возобновляемая энергия включает солнечную энергию, энергию ветра, гидравлическую энергию и т. д. Эффективное использование традиционной возобновляемой энергии очень важно для дальнейшего снижения стоимости использования и повышения энергоэффективности. Что касается энергии ветра, конструкция ветровой мельницы является важным вопросом, а материал для хранения тепловой энергии является важным измерением для регулирования тепловой энергии, особенно от Солнца. В этой статье, представлены достижения и разработка оптимального конструктивного решения модифицированной ветровой турбины с вертикальной осью Савониуса (VAWT) и материала для хранения тепловой энергии, чтобы обеспечить четкий обзор соответствующих исследований. Анализ результатов моделирования CFD, показал, что суще-

ствует максимальный показатель по мощности, когда значение прочности составляет около 0,609 для каждого модифицированного VAWT Савониуса с различными лопастями, что представляет собой новое значение сечения золотого в оптимальной конструкции модифицированного VAWT Савониуса, и близко к универсальному значению сечения значение золотого 0,618; материалы с фазовым переходом (PCM) весьма эффективны для регулирования тепловой энергии Солнца.

The utilization of traditional renewable energy is a simple convenient and inexpensive approach to solve the problem of energy crisis and global process of low-carbon development. The traditional renewable energy includes solar energy, wind energy, and hydraulic energy, etc., the effective utilization of the traditional renewable energy is very important to the further decreasing the use cost and increasing the energy efficiency. As to wind energy, the structural design of windmill is important issue, and the thermal energy storage material is important measurement to adjust heat energy, especially from the Sun. Here in this article, the achievement and development in the optimal structural design of the modified Savonius vertical axis wind turbine (VAWT) and thermal energy storage material are presented so as to provide a clear overview to the relevant research. By analyzing the CFD simulation results, it indicated that there exists a maximum power coefficient when the value of solidity stands about 0.609 for each modified Savonius VAWT with varying blades in average, which is a new Golden Ratio Section in optimal design of modified Savonius VAWT and close to the universal Golden Ratio Section number, 0.618; the phase change materials (PCMs) are quite effective to perform the adjustment of heat energy from the Sun.

1. Introduction. Exploration and application of renewable energy have been the major issue of recent years.

The utilization of traditional renewable energy is a simple convenient and inexpensive approach to solve the problem of energy crisis and global process of low-carbon development. The traditional renewable energy includes solar energy, wind energy, and hydraulic energy, etc., the effective utilization of the traditional renewable energy is very important to both the further decreasing the use cost and increasing the energy efficiency as well.

As to exploration and application of wind energy, the structural design of windmill is important issue. Vertical axis wind turbine (VAWT) is one of the main equipments for wind energy conversion, which can be further divided into lift and drag types. The term rotor solidity was frequently used to reflect the performance of a lift type VAWT, which was identified as a key parameter and defined by the product of blade number and chord length divided by the rotor diameter for Lift Type VAWT. In recent years, computational fluid dynamics (CFD) simulation has been employed to study the characteristics of

wind turbine [1]. The results of CFD simulation show that the Lift Type VAWT gets a maximum power coefficient as the solidity value lies between 0.2 and 0.5 [1], and the maximum power coefficient decreases with the increases of blade number and solidity for the lift type VAWTs with constant rotor radius [1].

On the other hand, the modified Savonius VAWT is a typical drag type VAWT. As compared to the original Savonius – type VAWT, the significant advantage of the modified Savonius – type VAWT is to provide a sufficient “blank space” in the central part of the wind turbine, which allows wind pass through the windmill steadily without the mutual shading among blades, so that the windmill could get higher energy efficiency.

A series of numerical simulations for the modified Savonius VAWTs has been conducted by Zheng et al. with the use of *CFD method* to optimize the structural parameters of multi-blade VAWTs [2-6], which are with semi-cylindrical shaped blades and the rotor radius R of 2 meters. The variations of dynamic performance of the VAWT and its power efficiency with respect to the structural parameters were studied. The structural optimization was carried out by using uniform test method, orthogonal test method and exhaustive algorithm method in taking the power efficiency of wind energy as the target function. The simulation of structural optimization study was conducted for VAWTs with 3 to 10 blades [2-6].

However, the solidity has not been well defined and studied for Drag Type VAWT till now.

In this article, the solidity for the modified Savonius VAWT is defined analogically, thereafter it excavated the characteristic of the solidity for the modified Savonius VAWT in the respect of optimization of structural design, i.e., a new Golden Ratio Section; Moreover, practical examples indicated that phase change materials (PCMs) are quite effective to perform the adjustment of heat energy from the Sun.

2. Golden ratio section in optimal structural parameters of the modified Savonius VAWT

Figure 1 shows a schematic of the modified Savonius VAWT with 4-blades, the blade is with semicircle shape [2]. Four blades are arranged at equal intervals. R is the radius of the windmill, $R = 2m$ here in the study; r is the radius of the blade, $d = 2r$; the arm length of connection from the end of the blade to the vertical axis is $R-2r$; α is the angle between the outermost edge of the blade and the support, which is called “installation angle”; $2R-d$ is the effective diameter of rotor, and it is specified that the clockwise rotation is positive and the counterclockwise rotation is negative.

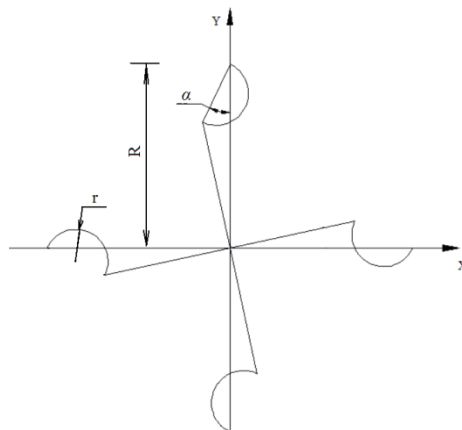


Fig. 1. A modified Savonius VAWT with 4-blade

Table 1 cites and displays the optimized structural parameters from literatures for the modified Savonius VAWTs with 3 to 10 blades [2-6].

As an analogy, the solidity is defined by the product of blade number and blade radius divided by the effective diameter of rotor for the modified Savonius VAWTs, i.e., $\eta = n \times r / (2R - d)$, the corresponding value of η is shown in the last column of Table 1 as well.

It can be seen from Table 1 that the average value of the solidity for the optimized structural parameters of the modified Savonius VAWTs is 0.609, which is close to the universal golden ratio 0.618. This is a new golden ratio section for the structural optimization parameters of the modified Savonius VAWTs with multi-blade.

In fact, the universal golden ratio (0,618) is a wonderful characteristic in nature. In biology and social life, it spreads into many fields, such as natural ecological, aesthetics, astronomy, geography and economic management, etc., there exists such a magic number almost everywhere [7].

Actually, in mechanics, Zhang presented that the bending moment and the deflection at the midpoint of a simply supported beam with a span of L are $0.125qL^2$ and $y_{max} = 5qL^4/(384EI)$, respectively if it is constrained at both ends and subjected to an uniformly distributed load q . However, if the constraint is moved inward by only $0.2L$, the bending moment and the deflection at the midpoint of an overhanging beam become $0.025qL^2$ and $y_{max} = 0.3qL^4/(384EI)$ simultaneously. It leads to a significant improvement of the strength and stiffness of the beam by such a movement. At this point, the ratio of the length of the middle section to the original length of the beam is $0.6L/L = 0.6$, which is not far from the universal golden ratio section 0.618 [8].

Zhu et al studied the characteristics of free vibration and the resonance mechanism of the forced vibration under harmonic loading. They presented that the ratios of the structure circular frequency to the layer stiffness and mass,

and that of the structural amplitudes at two points follow the golden section ratio quite well [9].

Table 1

Optimization parameters of the modified Savonius VAWTs

Source	n	d	α	η	S.D. (%)
1. Blade number effect on the optimal energy efficiency for modified Savonius rotor ^[2]	8	0.55	22.6°	0.636	4.4
	9	0.47	22.9°	0.593	2.6
	10	0.45	25.1°	0.631	3.6
2. CFD Based Optimum Design of Drag Typed VAWT By Using Orthogonal Test Method ^[3]	4	0.83	29°	0.524	13.5
	5	0.76	20°	0.587	3.6
	6	0.68	25°	0.615	1.0
3. Effect of blade number on performance of drag type vertical axis wind turbine ^[4]	3	1.32	0	0.739	21.3
	5	0.80	0	0.625	2.6
	6	0.68 ~ 0.70	0	0.614 ~ 0.636	0.8 ~ 4.4
4. Power efficiency of multi-blade drag typed VAWT by CFD simulation ^[5]	4	0.83	28°	0.524	14.0
	5	0.78	19°	0.606	0.5
	6	0.67	27°	0.604	0.8
5. Uniform Test Method Optimum Design for Drag - Type Modified Savonius VAWTs by CFD Numerical Simulation ^[6]	4	0.88	24.9°	0.566	7.0
	5	0.80	17.4°	0.628	3.1
	6	0.68	21.7°	0.616	1.1
Averaged				0.609	

The aspect ratio of height to width should be between $\sqrt{2}$ and $\sqrt{3}$ when taking into account the strength and rigidity of the beam together, which is close to the golden ratio of 1.618 [10]. As an interesting example, it was found that the wooden beams with an aspect ratio of height to width between $\sqrt{2}$:1 and $\sqrt{3}$:1 accounted for 53.7% by performing the actual measurement of beam-type wooden members of 34 ancient buildings in China from the 8th to the 12th centuries.

3. Thermal energy storage material for adjustment heat energy. The thermal energy storage material is an important measurement to adjust heat energy, especially thermal energy from the Sun.

Recent years, phase change materials (PCMs) have been extensively studied to be as a thermal energy storage medium [11-15].

Hydrated salts of disodium hydrogen phosphate dodecahydrate and disodium sulfate decahydrate were employed to compose a composite hydrated salt with a ratio of 9.5:0.5 [15]. The composite hydrated salt was used as a thermal storage medium in a solar hot-water system to increase the thermal conversion efficiency of such a system. The PCM was packaged in a plastic container, see Fig.2.

The solar thermal conversion efficiency for the 2 m² solar panel collector could reach up to 66.4% for a thermal storage medium consisting of 38.1 kg PCM together with 124.7 kg water at an averaged radiation intensity of 1243 w/m² and lower ambient temperatures between -7.0°C in the morning and 1.0°C at 15:00 in the winter of 2017 ~ 2018 in cold area of Shaanxi, China.

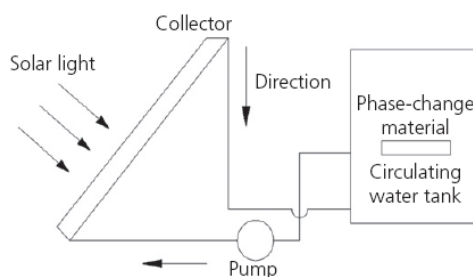


Fig.2. Diagram of a solar hot-water system

An experiment base has been established in the winter jujube greenhouse for trial use of PCMs in the winter of 2020 ~ 2021 in Dali County, Shaanxi of Shaanxi, China. The greenhouse covers an area of approximately 1,000 square meters. See Figure 3, the phase change materials are packaged in the black plastic bags next to the north wall. Figure 4 shows the test results of the winter jujube greenhouse with PCMs and a comparative winter jujube greenhouse without PCMs. The blue curve is the temperature test result of the comparative greenhouse, and the red curve is the temperature test result of the greenhouse with PCMs. It can be seen from Figure 4 that the highest temperature of the red curve is lower than that of the blue curve, and the lowest temperature of the red curve is higher than that of the blue curve, that is, the phase change material has played the roles of "cutting peaks and filling valleys" and the adjustment of thermal energy from the Sun in daytime and night time.



Fig.3. Winter jujube test base equipped with PCMs

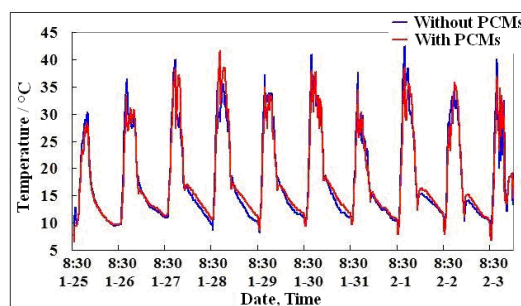


Fig.4. Test results of winter jujube in the greenhouse

4. Conclusion. The utilization of traditional renewable energy has the advantage of simple convenient and inexpensive, which is one of the approaches to solve the problem of energy crisis and global process of low-carbon development. The comprehensive analysis of CFD simulation result indicated that the value of solidity stands about 0.609 for each modified Savonius VAWT at their optimal structures, which is a new Golden Ratio Section in the optimal structural design of the modified Savonius VAWT and close to the universal Golden Ratio Section number, 0.618; the PCMs are quite effective media to perform the adjustment of heat energy, especially from the Sun.

References

1. Y. Chen, S. Fu, J. Zhang, B. Ou, C. Wu, Y. Chao, Effect of Solidity on the Performance of a Vertical Axis Wind Turbine by Numerical Simulation Analysis, *Advances in New and Renewable Energy*, 5(6), 409-416 (2017).
2. T. Zhao, X. Zhang, M. Zheng, Blade number effect on the optimal energy efficiency for modified Savonius rotor, *Proceedings of the ICE - Energy*, 173(3), 101-108 (2020).
3. M. Zheng, L. Zhang, H.P. Teng, J. Hu, M.L. Hu, CFD based optimum design of drag typed VAWT By using orthogonal test method, *Int. Conf. on Fundamental and Applied Problems of Physics*, 226-232 (2017). Tashkent, Uzbekistan.
4. M. Zheng, Y. Li, H. Teng, J. Hu, Z. Tian, Y. Zhao, Effect of blade number on performance of drag type vertical axis wind turbine, *Applied Solar Energy*, 52(4), 315-320 (2016).
5. M. Zheng, L. Zhang, H. P. Teng, J. Hu, M. L. Hu, Power efficiency of multi-blade drag typed VAWT by CFD simulation. *Inter. Review of Appl. Sci. & Eng.*, 9(1), 25-29 (2018).
6. M. Zheng, X. Zhang, L. Zhang, H. Teng, J. Hu, M. Hu, Uniform test method optimum design for drag-type modified Savonius VAWTs by CFD numerical simulation, *Arabian J. for Science and Engineering*, 43(9), 4453-4461 (2018).
7. W. Chen, Probe the cause of golden section, *Chinese Journal of Nature*, 26(6), 357-360 (2004).
8. J. Zhang, *Mechanics and Aesthetics, Mechanics in Engineering*, 17(1), 79-80 (1995).
9. B. Zhu, L. Sun, Z. Zhao, The golden section ratio of a class of vibration system of two degrees of freedom. *Mechanics in Engineering*, 39(2), 172-174 (2017).
10. T. Dong, Z. Han, The golden ratio in mechanics, *Mechanics in Engineering*, 30(5), 112-113 (2008).

11. Zheng M., Liu J., Jin H., Improvement of Thermal Storage Performance of Industrial Grade Disodium Hydrogen Phosphate, Proceedings of the Institution of Civil Engineering - Energy, 172(3), 115-121 (2019).

12. Zheng M., Xie C., Liu J., Jin H., Composite Hydrate Salt $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ & Its Thermal Storage Properties, Emerging Materials Research, 8, 68-76 (2019).

13. Zheng M., Cao G., Xie C. Improvement of comprehensive properties of $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ hydrate composite. Inter J. Energy Res. 44, 1–20 (2020). <https://doi.org/10.1002/er.5456>

14. Zheng M., Peng X., Liu J., Zhang S., Zhang X. Preparation and characterization of composite hydrate salt PCM of industrial grade disodium hydrogen phosphate with sodium carbonate, Int. Journal of Energy Research doi:10.1002/er.6299 (2020).

15. Jin H., Liu J., Zheng M., Teng H.P., Wei L.P., Application of Phase Change Material in Solar Hot Water System, Proceedings of the Institution of Civil Engineering - Energy, 172(1), 12-15 (2019).

Submitted by School of Chemical Engineering, Northwest University, Xi'an. China.

УДК 621.22.0

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ СКОРОСТЕЙ РЕК В ЭНЕРГЕТИКЕ

Ф. Свитала, Ю.М. Галицкова

Ноанъанавий манбалар энергия ишлаб чиқаришининг энг истиқболли замонавий усулларида биридир. Ҳар бир манба тури атроф-муҳит параметрларига ўзига хос таъсир қилади. Мақолада қуёш энергияси, шамол энергияси ва сув оқими энергиясидан фойдаланишда ушбу таъсирлар таҳлил қилинган. Мақолада, шунингдек, сув тегирмонлари дизайнлари ишлаб чиқилган ва асл ва замонавий турлари ўртасидаги энг муҳим фарқлар кўрсатилган. Дизайнни такомиллаштириш натижасида гидротехника иншоотининг янги дизайни таклиф қилинди, бу сув омборидан тўғон қўрмасдан электр энергиясини олиш имконини беради. Таклиф этилган дизайн Поляда Люблин университети олимлари томонидан синовдан ўтказилди. Дизайннинг асосий афзаллиги қўшни экотизимларга салбий таъсирни минималлаштиришидир.

Нетрадиционные источники – один из современных перспективных способов получения энергии. Каждый вид источника по-своему влияет на параметры окружающей среды. В статье проведен анализ таких воздействий при использовании энергии солнца, ветровой энергии и энергии водных потоков. Также в статье описано развитие конструкций водных мельниц и указаны наиболее существенные отличия первоначальных и современных видов. В результате усовершенствования предложена новая конструкция гидроустановки, позволяющая получать электроэнергию от водного потока без строительства плотины. Предложенная конструкция была апробирована в Польше учеными Люблинского университета. Основным преимуществом конструкции является минимизация негативного воздействия на прилегающие экосистемы.

Unconventional sources are one of the modern promising ways of obtaining energy. Each type of source affects the environmental parameters in its own way. The article analyzes these impacts when using solar energy, wind energy and water flow energy. The article also presents the development of water mill designs and indicates the most significant differences between the original and modern types. As a result of structural improvements, a new design of the hydroelectric plant was proposed, which allows to obtain electricity from the water flow without the construction of a dam. The proposed design was tested in Poland by scientists from the University of Lublin. The main advantage of the design is to minimize the negative impact on adjacent ecosystems.

Развитие нетрадиционных источников энергии идет по нескольким направлениям и включает в себя как первичные источники возобновляемой энергии (водные и ветровые потоки, солнце, геотермальную энергию), так и вторичные источники (созданные человеческими усилиями, то есть биомасса, биотопливо и т.д.). Данные способы получения энергии в настоящее время являются наиболее актуальными и широко используются в большинстве развитых стран. Использование первичных нетрадиционных источников энергии не сопровождается выбросами и сбросами загрязняющих веществ в водные объекты и атмосферу, не приводит к образованию отходов, то есть не приводит к возникновению неблагоприятных последствий в окружающей среде.

Исследование влияния нетрадиционных источников энергии показало их локальное влияние на атмосферные тепловые режимы. Например, воздействие ветровые турбин на ветровые условия могут приводить к незначительным изменениям тепловых условий, наблюдаемым локально через десятилетия после строительства ветровых электростанций. Результат анализа использования солнечных панелей привели к выводам о том, что покрытие панелями обширных земельных участков также изменяет термодинамические условия в районах, что в будущем может привести к глобальным изменениям.

Учитывая вышеизложенное, наименьшее влияние оказывает гидроэнергия. Однако количество мест, где плотины могут быть эффективно использованы ограничено, поскольку строительство таких объектов требует накопления воды в водохранилищах, что приводит к затоплению огромных территорий, что может еще больше повлиять на экологию окружающей среды региона.

На протяжении веков энергия речной воды использовалась для транспортировки товаров, леса и, среди прочего, для приведения в движение мельниц, как показано на рис. 1, где представлена реконструированная плавучая мельница.

Энергия водного потока зависит от многочисленных факторов: уровень грунтовых вод; глубина, сопротивление, форма и размер русла реки; зарастание русла реки. Структура водного потока требует определения скорости течения в поперечном сечении реки, как по вертикали, так и по горизонтали.

Характеристику течения воды в выбранном поперечном сечении можно представить графически. При этом стоит различать горизонтальную и вертикальную скорости течения, на которые влияет сопротивление дна реки, зависящее от особенностей грунта, формы русла и рельефа дна.

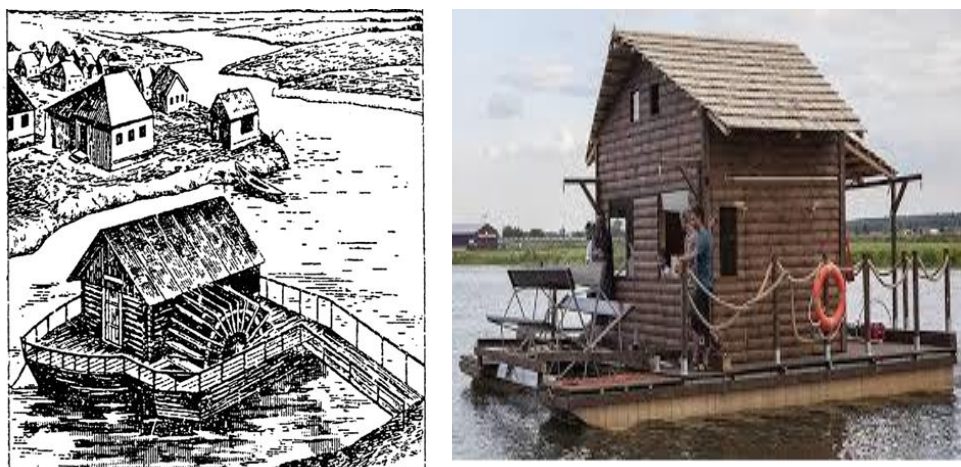


Рис. 1. Плавучая мельница

В зависимости от формы русла реки изменяется распределение скоростей водного потока. Указанное распределение зависит от шероховатости берегов и дна реки. В широких руслах рек влияние неровности берегов наблюдается только в прибрежной зоне, а основным фактором, влияющим на скорость течения, является неровность дна реки. Чем уже русло, тем большее влияние на скорость течения оказывает неровность берегов реки. Эмпирическое правило гласит, что влияние берегов реки можно наблюдать на расстоянии в 2-3 раза превышающем глубину реки.

Использование скорости водных потоков стало возможным благодаря установке, представленной на рис. 2, в которой генераторное колесо размещалось между 2 лодками, стоящими на якоре посреди быстротекущей реки (применялось в 1950-х годах).

В середине XX века стала применяться установка с вертикальными осями, встроенными в дно реки и служащими для передачи крутящего момента. Далее шла череда усовершенствований предложенной конструкции. В качестве механизма преобразования кинетической энергии в электрическую использовался генератор постоянного или переменного тока, что приводило к низкой эффективности конструкции. Только в 2014 году была спроектирована конструкция, которую можно разместить на дне реки, как показано на рис. 3. Установка имеет ширину 3,45 м и длину 1,7 м. Для сборки был использован стандартный автомобильный генератор, сцепление и трансмиссия.

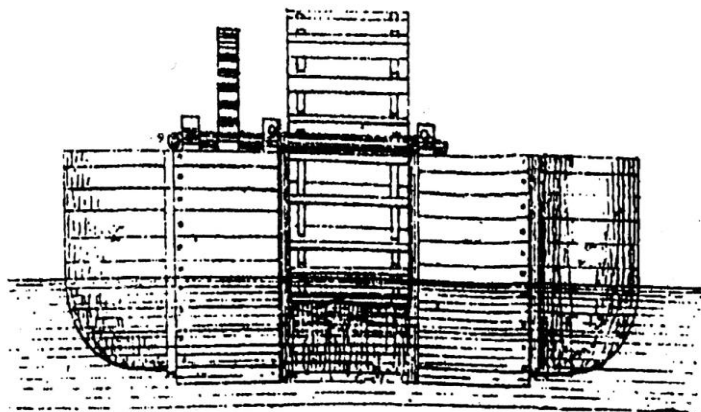


Рис. 2. Стоящая на якоре речная мельница



Рис. 3. Небольшая водная электростанция, предназначенная для погружения под воду вблизи русла реки (мощностью до 1,3 кВт)

В университете Иоанна Павла II в Люблине были проведены работы по реализации представленных выше конструкций в польских гидрологических условиях. Дипломники представили новую конструкцию турбины для использования скорости протекающей воды в русле реки и каналах, например, отводящих воду предприятий. Турбина, которая составлена из сегментов, может быть прикреплена ко дну реки, канала или к стенкам канала.

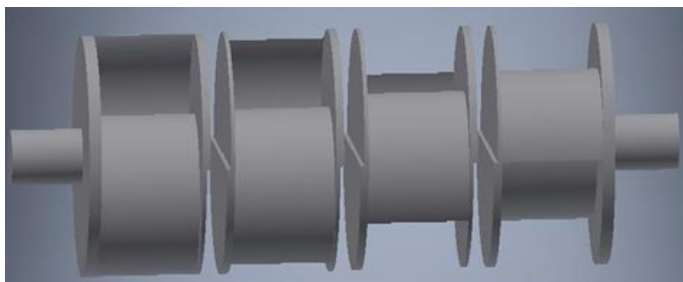


Рис.4. Турбина составлена из сегментов

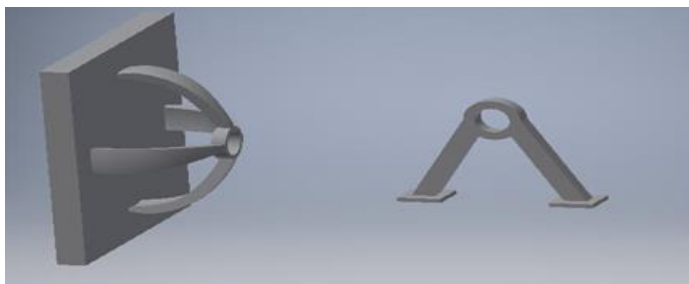


Рис.5. Возможные крепления турбины



Рис.6. Пример крепления турбины ко дну канала

Турбины этого типа позволят использовать энергетический потенциал текущих рек без необходимости строительства плотин, но использует гидродинамические напоры, создаваемые скоростью протекающей воды.

Выводы

1. Развитие нетрадиционных источников энергии является одним из актуальных вопросов энергетики в данный момент. Изучаются не только всевозможные способы получения энергии, но и влияние таких конструкций на природу.
2. Наименьшее влияние на состояние окружающей среды оказывают конструкции, использующие водные потоки для выработки энергии.
3. Конструкция сегментной турбины для использования гидродинамического напора и новой конструкции генератора с постоянными магнитами, значительно повышает энергоэффективность таких мини ГЭС.

Литература

1. Волшанник В.В., Орехов Г.В. Низконапорные гидравлические двигатели: монография. – Москва: МГСУ. 2009. - 392 с.
2. Кажинский Б.Б. Простейшая гидроэлектростанция. - М.: ДОСРАМ, 1960, - 55 с.
3. Кажинский Б.Б. Свободнопроточные гидроэлектростанции малой мощности. - М.: Государственное энергетическое издательство, 1950, - 70 с.
4. Гетманов В.Н., Блинов В.В., Гончаров Н.Ф. и др. Бесплотинные ГЭС как источники энергообеспечения отдельных потребителей / Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий: сборник трудов конференции. 2017. - С. 179-186.
5. Ахмедова Е.А., Бальзанников М.И., Шабанов В.А. Концепция развития береговой линии реки в пределах крупного города // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2004. № 7. - С. 27-31.
6. Бальзанников М.И. Направления совершенствования конструкций ветроэнергетических агрегатов // Энергетическое строительство. 1994. № 10. - С. 14-24.
7. Евдокимов С.В., Бальзанников М.И. Эффективность использования ветроэнергетических установок в Среднем Поволжье // Региональная экология. 1999. № 1-2. - С. 113-116.
8. Фофанов А.Т., Бальзанников М.И. Обоснование параметров аккумулирующего водоема энергокомплекса ВЭС-ГАЭС. / Труды новосибирского государственного архитектурно-строительного университета. 2000. №3. - С. 132-141.
9. Бальзанников М.И., Галицкова Ю.М. Повышение природоохранных требований в современных условиях Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды: труды конференции. 2000. - С. 222-223.
10. Елистратов В.В., Бальзанников М.И. Энергетика и окружающая среда / Экологическая культура Самарского региона: сборник статей. 2008. - С. 61-71.
11. Пиявский С.А., Бальзанников М.И. Гидравлическое аккумулирование электроэнергии в использовании малых ГАЭС // Научное обозрение. 2014. №6. - С. 90-95.
12. Шехова Н.В., Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Эколого-экономическое обоснование эффективности гидроаккумулирующих и ветровых электростанций // Экономика и управление собственностью. 2015. - С. 68-72.
13. Евдокимов С.В., Бальзанников М.И. Усовершенствованные конструктивные решения гидро- и ветроэнергетических установок и

выбор их основных параметров // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. 2013. № 3-4. - С. 88-94.

14. Бальзанников М.И. Особенности применения малых, мини- и микрогидроэлектростанций / Природоохранные и гидротехнические сооружения: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов: сборник трудов. 2014. - С. 40-45.

15. Свитала Ф., Галицкова Ю.М. Использование гидравлических энергоагрегатов с наклонной осью для малых гидроэлектростанций // Научное обозрение. 2014. № 10-2. - С. 450-456.

*Представлено Самарским государственным
техническим университетом, Россия*

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
В УЗБЕКИСТАНЕ****М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Н.Э. Каримова**

Мақолада қайта тикланадиган энергия манбаларига (ҚТЭМ) асосланган электр станциялари билан электр энергияси тизимининг (ЭЭТ) ишончлилиги, барқарорлиги, манёврлилиги ва энергия - иқтисодий самарадорлигини ошириш учун гидроаккумуляцион электр станцияларидан фойдаланиш зарурлиги муҳокама қилинган. Минимал ва максимал кунлик юкланиш жадвалларини қоплаш, шунингдек, энергия тебранишлари ва энергия захираларини тенглаштириш вазифалари муҳим бўлган қуёш-шамол электр станцияларининг қувватларини тартибга солиш мумкин.

Техник-иқтисодий баҳолаш ва ГАЭСнинг оптимал параметрларини аниқлаш учун сувдан фойдаланиш мақсади-наст босимли, кунлик ва мавсумий иш режимларини ҳисобга олган ҳолда мавжуд тизимлар билан қуриш шароитида математик модел таклиф этилади, минимал инвестиция мезонлари, қоплаш муддати, ГАЭС учун йиллик ҳаражатлар ва максимал ишлаб чиқарилган қувват ва ёқилгини тежаш билан атроф-муҳит омиллари тавсия этилган математик модел асосида насосли электр станциясининг оптимал энергия ва иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш бўйича методика ва дастур ишлаб чиқилди.

Тўртта энергетика ва сув хўжалиги объектлари: Туямуюн гидроузели, Арнасой, Талимаржон ва Ходжикент сув омборларида ГАЭСлардан фойдаланиш схемалари кўриб чиқилди ва ушбу объектлар учун ишлаб чиқилган услубият ва ҳисоблаш дастури асосида уларнинг энергия ва иқтисодий кўрсаткичлари аниқланди.

В статье рассмотрена необходимость использования гидроаккумулялирующих электростанций (ГАЭС) для повышения надёжности, устойчивости, маневренности и энергоэкономической эффективности электроэнергетической системы (ЭЭС) с энергоустановками на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые дают возможность эффективного покрытия суточных графиков нагрузки, а также регулирования мощностей солнечно-ветровых электростанций, для которых особенно важными являются задачи выравнивания колебаний мощностей и аккумуляирования энергии.

Для технико-экономической оценки и определения оптимальных параметров ГАЭС предложена математическая модель условий её строи-

тельства при существующих сооружениях с водохозяйственного назначения. При этом учитывались низконапорность, суточные и сезонные режимы работы, критерии минимума капиталовложений, сроки окупаемости, ежегодные издержки по ГАЭС и экологические факторы при максимальной выработке пиковой мощности и экономии топливных ресурсов. На основе предложенной математической модели разработана методика и программа по определению оптимальных энергоэкономических показателей ГАЭС.

Рассмотрены схемы использования ГАЭС на четырех энерговодохозяйственных объектах: Туямуюнском гидроузле, Арнасайском, Талимарджанском и Ходжикентском водохранилищах. Для этих объектов на основе разработанной методики и программы расчетов были определены их энергоэкономические параметры.

The article discusses the need to use pumped storage power plants (PSPP) to increase the reliability, stability, maneuverability and energy-economic efficiency of the electric power system (EPS) with power plants based on renewable energy sources (RES), which make it possible to cover the minimum and maximum daily load schedules, and also regulating the capacities of solar-wind power plants, for which the tasks of equalizing power fluctuations and energy storage are especially important.

For a technical and economic assessment and determination of the optimal parameters of a PSPP, a mathematical model is proposed under the conditions of its construction with existing structures, taking into account its water-use purpose - low-pressure, daily and seasonal operating modes, with the criterion of minimum investment, payback period, annual costs for PSPP and environmental factors with the maximum generated peak power and fuel savings. On the basis of the proposed mathematical model, a methodology and program have been developed to determine the optimal energy and economic indicators of a PSPP.

The schemes of using pumped storage power plants at four energy and water facilities, that is, the Tuyamuyun hydroelectric complex, Arnasai, Talimarjan and Khodjkent reservoirs, were considered, and for these facilities, on the basis of the developed methodology and program, their energy and economic parameters of the PSPP were determined.

Введение

В мировой энергетике при диверсификации энергобаланса за счет использования традиционных электрических станций и альтернативных источников энергии, наиболее важными аспектами становятся повышение надёжности, устойчивости, маневренности и энерго-экономической эффективности электроэнергетической системы (ЭЭС) и энергоустановок

на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) - солнечной, ветровой, гидравлической и др.

В Узбекистане ведутся широкомасштабные работы по развитию энергетической отрасли с учетом передового мирового опыта и современных тенденций развития мировой электроэнергетики [1, 2].

К настоящему времени общая установленная мощность электростанций Узбекистана составляет 4140,6 МВт. Порядка 85,7 % выработки электроэнергии приходится на тепловые электростанции (12 129 МВт), в основном работающих на природном газе, 13,3 % на ГЭС (1878 МВт) и 1 % на блок - станции (132,9 МВт) [1]. Эксплуатируемыми электростанциями Узбекистана за год вырабатывается более 62,9 млрд. кВт·час электроэнергии, а потребление составляет более 62,0 млрд. кВт·час [1-4].

Вместе с этим, проводится определенная работа по развитию возобновляемой энергетики, в первую очередь по использованию гидроэнергетического потенциала, энергии солнца и ветра.

Задачи развития ВИЭ указаны в Законе Республики Узбекистан № ЗРУ-225 «Об использовании возобновляемых источников энергии» от 21 мая 2019 г., в резидентских постановлениях № ПП-2947 «О программе мер по дальнейшему развитию гидроэнергетики на 2017 - 2021 годы» 2.05.2017 г. [5], № ПП-3012 «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017 - 2021 годы» 26.05.2017 г. [6] и Указе УП №5044 от 18 мая 2017 года «Об образовании акционерного общества «Узбекгидроэнерго» [7].

Отмечена необходимость последовательного увеличения использования возобновляемых источников энергии, создания на их основе новых экологически чистых генерирующих мощностей, обеспечения технического и технологического перевооружения существующих гидроэлектростанций на базе использования современных технологий [5-6].

Эти постановления направлены на повышение эффективности управления водными ресурсами с учетом передового международного опыта, повышение сбалансированности энергетических ресурсов и обеспечение, на этой основе, потребностей предприятий и населения в электроэнергии [5-7].

В числе приоритетных вопросов развития электроэнергетики Узбекистана в таких направлениях как теплоэлектростанции (ТЭС), атомная энергетика и ВИЭ [2, 3, 8]. прорабатываются крупные инвестиционные проекты по увеличению генерирующих мощностей энергосистемы в период до 2030 года, в их числе [2, 3, 8]:

1) строительство энергоэффективных тепловых генерирующих мощностей общим объемом около 15 ГВт;

2) строительство современных ПГУ комбинированного цикла производства электроэнергии общей мощностью около 9,5 ГВт (на Сырдарь-

инской, Навойинской, Талимарджанской, Тахиаташской, Туракурганской ТЭС и др.);

3) строительство регулирующих мощностей на базе маневренных газопоршневых установок, авиационных ГТУ, современных накопительных систем электроэнергии общей мощностью около 3,2 ГВт (на Сырдарьинской, Ташкентской ТЭС, Мубаракской ТЭЦ и др.);

4) строительство новых объектов ВИЭ (солнечных, ветровых и гидроэлектростанций) совокупной мощностью более 8400 МВт, в целях увеличения удельной доли ВИЭ в общем объеме генерации до 25%;

5) строительство АЭС мощностью 2 400 МВт.

Однако наряду с положительными сторонами развития и насыщения энергетической системы Узбекистана крупными электростанциями большой мощности, усугубляются трудности покрытия минимальных и максимальных суточных нагрузок ЭЭС (рис. 1). Кроме этого, спрос на электрическую энергию удовлетворялся не в полном объеме, дефицит составлял порядка 9,4 процента от потребности [2]. Ограниченный диапазон регулирования мощности крупноблочных агрегатов и отсутствие возможности частых пусков и остановов без резкого снижения надёжности и экономичности работы энергосилового оборудования электростанций, затрудняет покрытие неравномерной части графиков электрической нагрузки и приводит к необходимости увеличения маневренных мощностей.

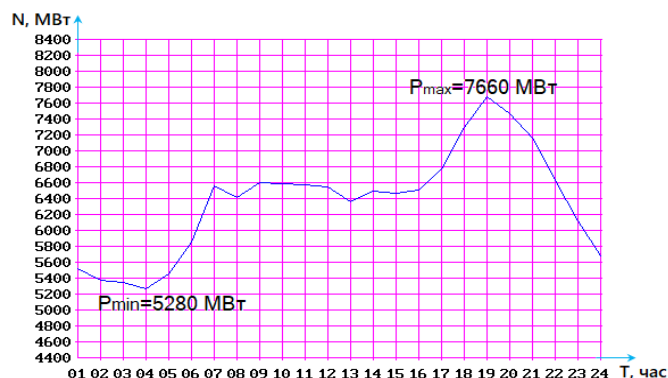


Рис. 1. График суточных нагрузок ЭЭС Республики Узбекистан (09.10.2019 г.)

Недостаточный удельный вес высокоманевренных электростанций в структуре генерирующих мощностей ЭЭС Республики Узбекистан вынуждает осуществлять регулирование мощностей тепловыми электростанциями. Частые пуски и остановки турбоагрегатов приводят к перерасходу топлива, снижению эксплуатационного ресурса теплоэнергетического оборудования, увеличению затрат на ремонтное обслуживание, ухудшению экологической обстановки в районах расположения ТЭС [9]. В целом, по информации Министерства энергетики Республики Узбекистан,

в 2018 году величина среднего удельного расхода топлива составила 354,6 г.у.т./кВт·час, а ЭЭС стран, где осуществляется должное регулирование мощностей с использованием ГАЭС, эта цифра не превышает 330,0...340,0 г.у.т./кВт·час [10].

Как известно, для нормальной работы ЭЭС, маневренные мощности должны составлять около 25% от общей её мощности [11-13]. Наиболее перспективными маневренными мощностями являются ГЭС, однако их доля в ЭЭС Узбекистана составляет только 13,3%.

Наиболее оптимальным решением данной задачи является создание и использование гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Особенность создания и использования ГАЭС в нашем регионе в том, что имеющиеся гидроресурсы в основном имеют водохозяйственное назначение, а другие приоритеты до сих пор являлись второстепенными, особенно это касается задач повышения энергетической эффективности существующих водохранилищ.

Главным вопросом при освоении водных ресурсов всегда было удовлетворение потребностей водного хозяйства и питьевого водоснабжения [14, 15]. Поэтому на нынешнем этапе развития гидроэнергетики освоение гидроэнергетических ресурсов необходимо осуществлять на внутренних водотоках сезонного действия, в системах водохранилищ, на гидротехнических сооружениях без ущерба интересам ирригации и водоснабжения [14, 15]. Это, как показывают расчеты, намного уменьшает капвложения на освоение гидроэнергетических ресурсов и даёт возможность более полного использования потенциала накапливаемого объёма воды [14, 15].

В общем случае можно сказать, что гидроэнергокомплекс (ГЭК) есть параллельное функционирование объектов электроэнергетических (ГЭС, ТЭС ВЭС, СЭС и т.п.) и водохозяйственных (НС, насосы ГеоТЭС, ГТС и др.) систем [14].

В настоящее время строительство ГАЭС требует возведения новых водохранилищ, что требует больших капиталовложений [14-16]. Также можно отметить, что вопросы детального проектирования водохранилищ для ГАЭС и режимов их работы только начинают разрабатываться [14,15]. При проектировании водохранилищ необходимо учитывать большое количество факторов: рельеф местности, свойства почвы, фильтрация воды, подземные воды, породы, данной местности, возможность использования местных материалов для возведения плотины, расположение населенных пунктов и сельхозугодий, наличие и развитость дорожно – транспортных возможностей и экологическая обстановка в данном районе. Для ГАЭС надо дополнительно учитывать водохозяйственное назначение водных ресурсов и режимов их использования.

Для уменьшения капиталовложения при строительстве ГАЭС можно использовать уже имеющиеся водохранилища [16], однако проработка этого вопроса не проводилась.

Ещё один экономичный вариант при строительстве ГАЭС – это строительство только одного водохранилища, а вместо второго использовать крупную реку или канал, а также создать специальный бассейн около крупных НС и ТЭС. [14, 15].

Как известно в экономике Узбекистана важную роль имеет сельское хозяйство. Важнейшим аспектом развития сельского хозяйства в нашем регионе являются водные ресурсы, необходимые для орошения земель [14, 15]. По этой причине большинство водохранилищ в нашей стране, включая “Чарвак”, служат для нужд сельского хозяйства. При строительстве любого нового гидроэнергетического объекта или реконструкции старого, нужно учитывать потребности сельского хозяйства [14, 15]. В условиях нехватки целесообразно использовать водные ресурсы одновременно и для нужд сельского хозяйства, и для нужд энергосистемы страны.

В связи с этим, повышение энергетической, экономической и экологической эффективности гидроаккумулирующих систем, непосредственно связанной с разработкой и усовершенствованием способов и методов определения оптимальных режимных и технико-экономических параметров ГАЭС, и оценки их значимости при обеспечении надежности, стабильности и манёвренности ЭЭС и энергоустановок на базе ВИЭ, является актуальным.

Метод моделирования

Предложена математическая модель для технико-экономической оценки и определения оптимальных параметров ГАЭС в условиях строительства дополнительных объектов при существующих сооружениях.

Пусть имеется множество вариантов с фиксированными значениями капитальных вложений на строительство ГЭК $K_{ГЭК}$ и ежегодных издержек $I_{ГЭК}$.

При этом:

$$K_{ГЭК} = \sum_{i=1}^n K_{Э,i}; \quad (1)$$

$$I_{ГЭК} = I_{ВХЭК} + \sum_{i=1}^n I_{Э,i}; \quad (2)$$

где $I_{ВХЭК}$ – ежегодные издержки по водохозяйственным объектам и экологическим факторам; $K_{Э}$, $I_{Э}$ – капитальные вложения и ежегодные издержки по гидроэнергетическим объектам.

Задача будет заключаться в распределении ограниченных капиталовложений между объектами $i = 1 \dots n$ и выборе соответствующего варианта решения $j = 1 \dots m$.

Как известно [14, 16], критерием для подобных расчетов является:

$$Z_{ГЭК,ij} = I_{ГЭК,ij} + \lambda K_{ГЭК,ij} + \sum U_{ij} \rightarrow \min; \quad (3)$$

где $\sum U$ – суммарный ущерб при вводе в эксплуатацию гидроэнергетических объектов (например, увеличение потерь воды).

Задаваясь значениями множителя λ при известных значениях $I_{ГЭК}$, $K_{ГЭК}$ и $\sum U$, через определенное число шагов можно найти такое решение, которое удовлетворяет вышеприведенному критерию и является допустимым по балансу вложений. В этом случае множитель λ будет являться нормативом эффективности для рассматриваемой совокупности вариантов.

Поставленная цель, т.е. прирост дополнительной мощности $\Delta N_{ГЭК}$ должен обеспечиваться при минимуме ежегодных издержек с условием:

$$\left(\sum_{i=1}^n K_i \right)_j \leq K_{ГЭК} \quad (4)$$

При известных приведенных экономических показателях $\gamma_{K,i}$ и $\gamma_{H,i}$ математическая модель такой системы может быть описана следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} I_i &= \left(\sum_{i=1}^n \gamma_{H,i} \cdot N_i \right)_j \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n N_i &\geq \Delta N_{ГЭК} \\ \left(\sum_{i=1}^n \gamma_{K,i} \cdot N_i \right)_j &\leq K_{ГЭК} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Эффективность функционирования любого ВХК (водохозяйственный комплекс) связана с балансом объема воды в водохранилищах. Когда речь идет об аккумулировании гидравлической энергии, водный баланс составляется отдельно для верхнего и нижнего бьефов.

Структурная схема ГАЭС с двумя водохранилищами представлена на рис.1.

Для верхнего бьефа должно соблюдаться условие:

$$V_{B.B.}(t) = V_{B.B.}(t_0) + \int_{t_0}^t [Q_{np}(t) - Q_{хол}(t) + Q_{ос}(t) - Q_{ном}(t) - Q_{омб}(t) \pm Q_{ГЭУ}(t)] dt \quad (6)$$

где, $V_{B.B.}(t_0)$ – первоначальный объем водохранилища; $Q_{np}(t)$, $Q_{хол}(t)$, $Q_{ос}(t)$, $Q_{ном}(t)$, $Q_{омб}(t)$ – расходы притока, холостых сбросов, осадков, потери и отбора воды для различных нужд в момент t ; $Q_{ГЭУ}(t)$ – производительность гидроэнергетической установки, где знак (+) соответствует насосному, а знак (–) турбинному режиму.

Объем нижнего водоема зависит от следующего балансового соотношения:

$$V_{H.B.}(t) = V_{H.B.}(t_0) + \int_{t_0}^t [Q_{хол}(t) + Q_{ос}(t) - Q_{ВХК}(t) - Q_{ном}(t) \pm Q_{ГЭУ}(t)] dt \quad 7)$$

где $Q_{ВХК}(t)$ – расход воды для участников ВХК в момент t . Для нижнего водоема знак (+) перед значением $Q_{ГЭУ}(t)$ соответствует турбинному, а знак (–) насосному режиму. Если в нижнем водоеме невозможно улавливать фильтрационные воды из верхнего бьефа то необходимо учитывать этот фактор при расчете величины $V_{H.B.}$

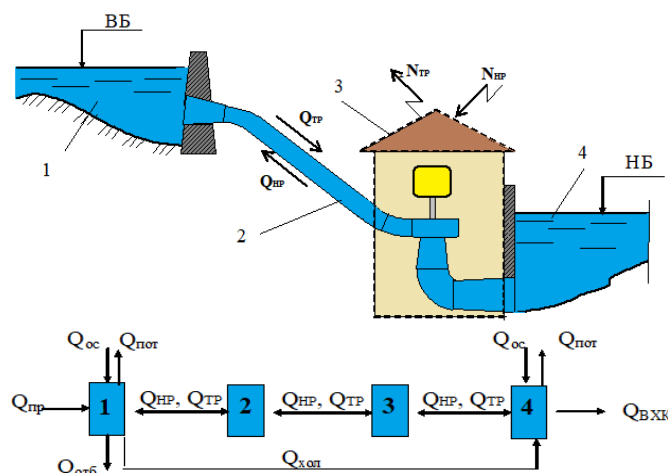


Рис.1. Структурная схема ГАЭС: 1 – верхний водоем; 2 – напорный трубопровод; 3 – здание ГАЭС; 4 – нижний водоем

Данная математическая модель определяет связи между экономическими затратами и объемами водохранилищ ГАЭС. В частности, следует, что местные условия нижнего бьефа и приплотинной местности могут стать определяющими факторами для величины $V_{Н.Б.}$

Исходя из математической модели для технико-экономической оценки и определения оптимальных параметров ГАЭС была разработана методика и программа по определению оптимальных энерго-экономических показателей ГАЭС, которая позволяет решить вышеуказанную задачу и даёт возможность определить капиталовложения в ГАЭС ($K_{ГАЭС}$), а также выработку электроэнергии в турбинном режиме (ТР) ($\mathcal{E}_{ТР}$), потребление электроэнергии в насосном режиме (НР) ($\mathcal{E}_{НР}$), годовую экономию топливных ресурсов ($\mathcal{D}_{топлив}$), экономию топлива ($\mathcal{E}_{топлив}$), годовые издержки ГАЭС ($I_{ГАЭС}$), экономическую эффективность за год ($\mathcal{E}_{ГАЭС}$), срок окупаемости капвложений ($T_{ок}$) (5-6 лет) и рентабельность капвложений R [17, 18].

Результаты и обсуждение

На основе разработанной методики и программы, были исследованы энерго-экономические показатели ГАЭС при их использовании в энерговодохозяйственных объектах [15, 16, 18, 19]: при Туямуюнском гидроузле, Арнасайском, Талимарджанском и Ходжикентском водохранилищах (рис. 2). Получены следующие результаты:

- строительство ГАЭС суммарной мощностью 39,4 МВт в Туямуюнском гидроузле даст возможность получения в год не менее 86,5 млн. кВт·час электроэнергии в часы пика, с годовой экономической эффективностью 24,3 млрд. сум, а также экономить 12 950,0 т.у.т. органических топлив;

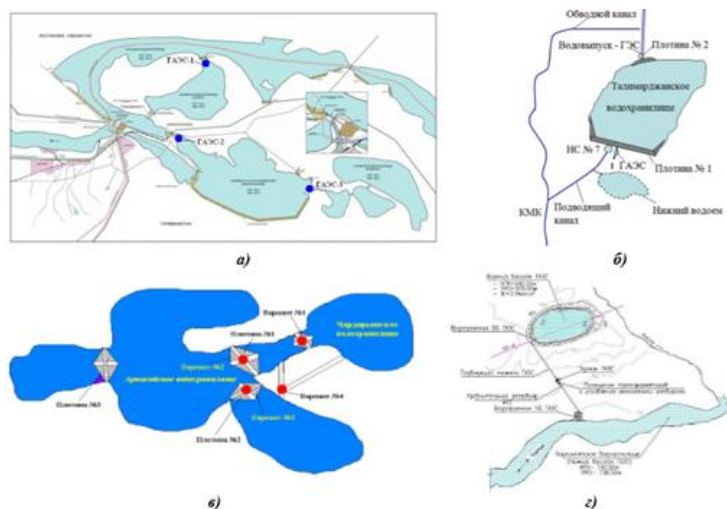


Рис. 2. Схемы энергетических объектов с использованием ГАЭС: а) схема Туямуюнского гидроузла; б) схема Талимарджанского водохранилища; в) схема Арнасайского водохранилища; г) схема Ходжикентского водохранилища

- строительство ГАЭС мощностью 159,8 МВт на Арнасайском водохранилище, даст возможность получения в год не менее 350,0 млн. кВт·час электроэнергии в часы пика, с годовой экономической эффективностью 109,5 млрд. сум, а также экономить 52 508,3 т.у.т. органических топлив;
- использование ГАЭС мощностью 18,473 МВт на Талимарджанском водохранилище даёт возможность получить в год 40,456 млн. кВт·час электроэнергии в часы пика, с годовой экономической эффективностью 5,440 млрд. сум, а также экономию 6 068,45 т.у.т. органических топлив;
- строительство Ходжикентской ГАЭС мощностью 200 МВт с годовой экономической эффективностью 564,55 млрд. сум, даёт возможность в год выработать 452,600 млн. кВт·час электроэнергии в часы пика, экономить 67,90 тыс. т.у.т. органических топлив.

Заключение

1. Использование ГАЭС повышает надёжность, устойчивость, маневренность и энерго-экономическую эффективность ЭЭС и энергоустановок на базе ВИЭ; даёт возможность покрытия минимальных и максимальных суточных нагрузок ЭЭС, полного использования солнечных и ветровых энергетических станций, выравнивание колебаний мощностей путем аккумуляции энергии.

2. В настоящее время существующие водохранилища республики в основном используются в целях орошения, частично для питьевого водо-

снабжения. Для более полного использования потенциала водных ресурсов при эксплуатируемых водохранилищах необходимо создание гидро-энергокомплексов с ГАЭС, способных решать вопросы производства электроэнергии.

3. Предложена математическая модель для технико-экономической оценки и выбора параметров, разработаны методика и программа по определению энерго-экономических показателей ГАЭС для энергovo-дo-хозяйственных объектов Узбекистана. Они могут быть использованы при проектировании, разработке, технико-экономического обоснования и определении оптимальных вариантов комплексов.

4. Потенциальные и технические возможности создания ГАЭС на четырех энергovo-дo-хозяйственных объектах – Туямуюнской, Арнасайской, Талимарджанской и Ходжикентской объектах позволяет получить суммарную пиковую мощность около 418 МВт и выработать более 930,0 млн. кВт·час/год электроэнергии, а также экономить топливные ресурсы до 139 тыс. т.у.т./год. При этом появляется возможность сократить годовой выброс эмиссии CO_2 до 213 тыс. т/год и добиться экологической эффективности 32,11 млрд. сум/год: в итоге экономическая эффективность ГАЭС будет составлять около 700 млрд. сум/год.

Литература

1. Электроэнергетика Узбекистана. http://energo-cis.ru/wyswyg/file/news/Энергосистема_Узбекистана.pdf.
2. Концепция обеспечения Узбекистана электрической энергией на 2020–2030 годы. http://minenergy.uz/uploads/1a28427c-cf47-415e-da5c-47d2c7564095_media_.pdf.
3. Министерство энергетики: цели, задачи, планы и достижения. <https://minenergy.uz/ru/lists/view/10>.
4. Enerdata Статистический ежегодник мировой энергетики 2019, <https://yearbook.enerdata.ru/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html>.
5. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-2947 «О программе мер по дальнейшему развитию гидроэнергетики на 2017 - 2021 годы» от 2 мая 2017 г. http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3219734.
6. Указ Президента Республики Узбекистан № УП-5044 «Об образовании акционерного общества «Узбекгидроэнерго»» от 18 мая 2017 г. <https://lex.uz/docs/3210104>.
7. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы» от 26 мая 2017 года. http://www.lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3221897.

8. Развитие генерирующих мощностей – ТЭС, АЭС, ВИЭ – основополагающие в развитии в электроэнергетики Узбекистана. <https://e-cis.info/news/567/82429/>.
9. Аккумулирующие электрические станции. <https://infopedia.su/18x172e0.html>.
10. [10] Paul Denholm, Erik Ela, Brendan Kirby and Michael Milligan. The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. Technical Report NREL/TP-6A2-47187 January 2010.
11. Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике/ – М. : ЭНАС, 2008.– 352 с.
12. Mukhammadiev M.M., Dzhuraev K.S., Klychev I. Sh. Capabilities of hydroelectric pumped-storage stand-alone power plants. Applied Solar Energy, 49(4), New York, 2013. – pp. 267-271.
13. Klychev I. Sh., Mukhammadiev M. M., Nizamov O.Kh., Mamadierov E.K., Dzhuraev K.S., Saifiev A.U. Method for calculating the power of combined autonomous electric power plants. Applied Solar Energy, 50(3), New York, 2014. – pp.196-201.
14. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М., Претро Г.А. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование. Учебное пособие. – СПб: СПбГТУ, 1995. – 102 с.
15. Джураев К.С., Мукольянц А.А. Перспективы и особенности строительства ГАЭС в Узбекистане // Молодой ученый. Казань, 2016. - № 27 (131), часть 1. - С. 64-68. <https://moluch.ru/archive/131/36568/>.
16. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Гидроаккумулирующие электрические станции. – Ташкент.: Фан ва технология, 2018. - 212 с.
17. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Жураев С.Р., Куланов Ж.Б., Ма-маткулов Д.А. Программа по определению энерго-экономических параметров гидроаккумулирующих электростанций. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 07363, 19.12.2019.
18. Mukhammadiev M.M., Dzhuraev K.S. Justification of the energy and economic parameters of pumped storage power plants in Uzbekistan. Applied Solar Energy, 56(3), New York, 2020. – pp. 227-232.
19. Dzhuraev K., Nasrulin A., Shadibekova F., Kurbonov Sh. Geoinformation systems at the selection of engineering infrastructure of pumped storage hydropower for the Tuyamuyun complex. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 869, Number 4, Engineering Infrastructure, Vietnam, Xanoy, 2020. – pp.1-10.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 620.001

«ЯШИЛ ЭНЕРГИЯ» – ДАВР ТАЛАБИ!**Н.А. Матчанов, М.Х. Хакимов, Ж.Б. Тошов, Н.Н. Далмурадова,
М.Х. Дехконова, Э. Абдуллаев**

Мақолада сўнгги йилларда Ўзбекистонда қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасида меъёрий-ҳуқуқий инфратузилмани шакллантириши, мамлакат ёқилги-энергетика ресурсларини диверсификациялашда қайта тикланувчи энергия манбаларининг тутган ўрни ва аҳамияти ҳамда қуёш, шамол ва сув энергияси қувватларини режалаштириши ва ўрнатиши борасида амалга оширилаётган лойиҳалар тўғрисида маълумотлар келтирилган. Бутун жаҳонда рўй бераётган иқлим ўзгаришлари оқибатларини юмшатиши бўйича Ўзбекистон Республикаси Олий Мажлиси Қонунчилик палатаси томонидан Бирлашган миллатлар ташиқлотининг Иқлим ўзгариши тўғрисидаги доиравий конвенцияси “Париж битими”ни (Париж, 2015 йил 12 декабрь) ратификация қилиши доирасида Ҳукуматимиз томонидан қўйилган мақсадли кўрсаткичлар, хусусан, мамлакатда 2030 йилга қадар иссиқхона газларининг ялпи ички маҳсулот бирлигига нисбатан солиштирма ажратмаларини 2010 йилдаги даражадан 10% га қисқартириши мажбуриятини бажариши борасида “яшил” иқтисодиётга ўтиши стратегиясида белгилаб берилган вазифалар ижроси йўлида амалга оширилган ва оширилаётган лойиҳалар ҳамда уларнинг натижалари таҳлил қилинган. Шунингдек, қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энергетик тизимларни лойиҳалаштириши, режалаштириши ва ўрнатишида оптимал ер майдонларини танлаш, уларнинг ишлаб чиқариши қувватларини юқори аниқликда башиорат қилишнинг илмий асосларини яратиши бўйича ёш олимлар томонидан эришилган ютуқлар ва яратилган ишланмалар ҳақида сўз юритилган. Соҳа ривожини йўлида мамлакатда йўлга қўйилган юқори малакали кадрлар тайёрлаш тизими ҳақида, соҳани кенг кўламда ривожлантириши бўйича мавжуд илмий-тадқиқот ва олий таълим ташиқлотлари томонидан амалга оширилган илмий-амалий изланишлар, қўйилган қадамлар, амалга оширилган ва оширилаётган илмий, амалий, инновацион ҳамда инвестицион лойиҳалар, ҳамда ушбу лойиҳалар доирасида яратилган илмий ишланмалар, ривожланган мамлакатлар даражасида рақобатбардош бўлган илмий ҳажмдор маҳсулотлар ва натижалар санаб ўтилган. Республикада қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасини халқаро андозалар асосида ривожлантириши йўлида олимларимиз, соҳа мутахассислари ва маҳаллий ишлаб чиқарувчилар томонидан ўзаро ҳамкорликда ўтказилган тадқиқотлар доирасида белгилаб берилган устувор илмий йўналишлар ва эришилган натижалар, қўлга киритилган муҳим ютуқлар келтирилган.

В статье представлена информация по формированию нормативно-правовой инфраструктуры в области возобновляемых источников энергии в Узбекистане, о роли и значении возобновляемых источников энергии в процессе диверсификации топливно-энергетических ресурсов страны, а также о реализуемых пилотных проектах по проектированию, планированию и установке солнечных, ветровых и гидроэнергетических мощностей. Проанализированы реализованные и реализуемые в стране зарубежными инвесторами и отечественными производителями инвестиционные проекты, и достигнутые результаты по выполнению задач, поставленных Правительством по достижению целевых показателей для смягчения последствий глобальных климатических изменений, определенных в рамках ратифицированного Законодательной палатой Олий Мажлиса Республики Узбекистан Рамочной конвенции ООН об изменении климата «О ратификации Парижского соглашения (Париж, 12 декабря 2015 г.)», в частности, по снижению удельного выброса парниковых газов на единицу валового внутреннего продукта на 10 % от уровня 2010 года. Также в статье обсуждены последние научные разработки, наукоемкие виды продукции, разработанные молодыми учеными в процессе создания научных и инженерных основ в области проектирования, планирования энергосистем и установок на основе возобновляемых источников энергии, по выбору оптимальных земельных участков для их установки, по высокоточному прогнозированию производственных мощностей данных энергосистем. В статье также перечислены достигнутые результаты по созданию системы подготовки высококвалифицированных кадров в области возобновляемых источников энергии, а также реализуемые научные, прикладные, инновационные и инвестиционные проекты в секторе, конкурентоспособные наукоемкие виды продукции на основе международных стандартов, разработанные специалистами отечественных научно-исследовательских учреждений и высших учебных заведений. Приведены приоритетные научные направления по широкомасштабному развитию возобновляемых источников энергии, определенные отечественными учеными, специалистами и местными производителями в рамках совместных исследований и интеграции “науки, образования, производства”, приведены достигнутые успехи по масштабному развитию отрасли.

The article provides information on the ongoing projects in Uzbekistan in recent years on the formation of regulatory infrastructure in the field of renewable energy, the role and importance of renewable energy sources in the diversification of fuel and energy resources and planning and installation of solar, wind and hydropower. Targets set by the Government in the framework of ratification of the United Nations Framework Convention on Climate Change "Paris Agreement" (Paris, December 12, 2015) by the Legislative Chamber of the Oliy Majlis of the Republic of Uzbekistan to mitigate the effects of global climate change, in particular, the projects implemented and being implemented and the results of

the implementation of the tasks set in the strategy for the transition to a "green" economy to fulfill the commitment to reduce the specific emissions of greenhouse gases per unit of GDP by 10% from the level of 2010. It is also mentioned about the achievements and developments made by young scientists on the design, planning and installation of energy systems based on renewable energy sources, the selection of optimal land areas, the creation of scientific bases for high-precision prediction of their production capacities. On the system of training highly qualified personnel in the country for the development of the industry, scientific and practical research conducted by existing research and higher education institutions on the large-scale development of the industry, steps taken, implemented and ongoing scientific, practical, innovative and investment projects, and the scientific developments created within the framework of these projects, the volume of scientific products and results that are competitive at the level of developed countries. In order to develop the renewable energy sector in the country on the basis of international standards, the priorities and results identified in the framework of joint research conducted by our scientists, experts and local producers are presented, as well as significant achievements.

Сўнгги йилларда давлатимиз раҳбарияти томонидан қайта тикланувчи энергия манбаларидан иқтисодиётнинг барча соҳаларида кенг миқёсда фойдаланишни ривожлантиришга асос солувчи бир қатор Фармон ва Қарорлар қабул қилинди. Хусусан, Ўзбекистон Республикасининг 2019 йил 21 майдаги “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида”ги Қонуни [1], Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги №ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони [2], Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 22 июлдаги 610-сонли “Электр энергияси, шу жумладан, энергиянинг қайта тикланадиган манбаларидан электр энергияси ишлаб чиқарадиган тадбиркорлик субъектларини ягона электроэнергетика тизимига улаш регламентини тасдиқлаш тўғрисида”ги Қарорларига мувофиқ [3], мамлакат ёқилғи-энергетика балансини диверсификациялаш, шунингдек, электр ва иссиқлик энергияси ишлаб чиқаришни углеродсизлантириш республика энергетика тизими ва умуман иқтисодиёт тармоқлари фаолиятини янада оптималлаштиришнинг устувор йўналишлари бўлиб ҳисобланади.

Таъкидлаш лозимки, республикада қайта тикланувчи энергия манбалари, жумладан, қуёш энергияси соҳасида олиб бориладиган илмий изланишлар, Тошкент шаҳрида биринчи метеостанция “Тошкент-обсерватория” 1867 йил декабр ойида ташкил этилганлигига қарамадан, 1925 йилда Ўзбекистон Гидрометеорология институтида актинометрик ўлчашлар билан бошланиб, мамлакат энергия захираларини баҳолаш ва халқ ҳўжалигида улардан фойдаланиш зарурлигига қаратилган [4]. 1973 йилда юз берган биринчи жаҳон энергетик инқирозидан сўнг, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш энергия ва экологиянинг глобал муаммоларини ҳал қилишда муҳим роль ўйнаши яна бир бор ўз исботини

топди [5]. Бу ўз навбатида, маълум даражада, дунёнинг бошқа мамлакатларида бўлгани каби, Ўзбекистонда ҳам гелиотехника соҳасининг ривожланишига тurtки бўлди. Шу билан бирга, сўнгги йилларда материалшунослик фани жадал суръатларда ривожланиши натижасида қуёш энергиясини тўпловчи катта қурилмалар – гелиоконцентраторларга эътибор кучайди. Бундай қурилмалар ёрдамида янги материалларни яратиш, материаллар хусусиятларини яхшилаш учун уларни нур ёрдамида қайта ишлаш, уларнинг иссиқлик хусусиятларини ўрганиш, ўта соф материаллар олиш, пайвандлаш ва бошқаларни амалга ошириш мумкин. Катта қуёш концентраторларининг амалий аҳамиятини эътиборга олиб, 1987 йилда Тошкент шаҳридан 45 км узоқликда Паркент туманида академик С.А. Азимов раҳбарлигида Осиё минтақасида ягона, иссиқлик қуввати 1 МВт бўлган Катта Қуёш сандони (КҚС) қурилган ва ишга туширилган [6] бўлиб, унда янги материаллар синтези амалга оширилмоқда. Шунингдек, жорий йилда олдиндан берилган хусусиятларга эга бўлган кўп функцияли элементларни синтез қилиш, янги материаллар асосидаги технологияларни яратиш ва ишлаб чиқиш, материалшунослик соҳасини ривожлантириш мақсадида ЎзР ФА Материалшунослик институти, Дрезден техника университети, Ўзбекистон Республикаси Инновацион ривожланиш вазирлиги ҳамда “Ўзкимёсаноат” АЖ ташкилотлари ҳамкорлигида “Яшил технологиялар водийси” консорциуми ташкил қилинди.

Ҳозирда республикада Фанлар академияси тизимидаги қатор илмий ташкилотларда соҳа ривожини йўлида илмий изланишлар олиб борилмоқда, 12 та олий таълим даргоҳлари ва бошқа таълим муассасаларида қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасида муҳандислар, бакалавр, магистр ва докторантлардан иборат бўлган юқори малакали мутахассислар тайёрлаб келинмоқда. Республикада мазкур соҳада шунингдек, академик ва профессорлар томонидан шакллантирилган йирик илмий мактаблар мавжуд бўлиб, ушбу мактабларда МДХ давлатлари ва жаҳонда тан олинган кўплаб фан докторлари ва фан номзодларидан иборат юқори салоҳиятли, етук мутахассислар фаолият олиб бормоқдалар. Республикада “Қайта тикланувчи энергия манбалари” йўналиши бўйича техника фанлари доктори (DSc) ва фалсафа доктори (PhD) илмий даражасини берувчи 4 та илмий кенгаш (ЎзР ФА Физика-техника институтида, Тошкент давлат техника университетида, Фарғона политехника университетида, Қарши иқтисодиёт ва муҳандислик институтида) мавжудлиги илм-фаннинг устувор йўналишларида юқори малакали кадрлар тайёрлаш масалалари давлатимиз раҳбари томонидан қўйилган асосий масалалардан бири эканлигининг яна бир исботидир [7-10]. Ушбу илмий кенгашлар таркибида мазкур соҳанинг етакчи олимларидан 30 нафар профессор, 29 нафар техника фанлари доктори, 17 нафар техника фанлари бўйича фалсафа докторлари фаолият олиб бормоқдалар.

Шу билан бирга, республикада соҳага ёш олимларни жалб қилиш, уларни ижтимоий қўллаб-қувватлаш бўйича олиб борилаётган давлат сиёсати натижасида, қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасида илмий

тадқиқот фаолиятини олиб бораётган кўплаб ёш олимлар хориждаги етакчи илмий марказлар ва ташкилотларда илмий малака ошириб (стажировка ўтаб) ва ўз навбатида тажриба орттириб келишмоқда. Натижада, ҳозирги кунда ёш тадқиқотчи олимлар томонидан иқлим ўзгаришлари оқибатларини юмшатишга қаратилган изланишлар олиб борилиши натижасида қатор ютуқларга эришилди. Хусусан, республика куёш энергияси салоҳиятини баҳолаш бўйича рақамли харита, ихтиёрий йўналишда, уфққа нисбатан турли бурчак остида ўрнатилган ясси сиртга тушувчи йиғинди куёш нурланиши бўйича маълумотлар базаси [11], Ўзбекистон Республикаси ҳудудлари учун узоқ муддатли сунъий йўлдош ва ер усти кузатувлари ҳамда реанализига асосланган актинометрик ва иқлимий маълумотлар базаси каби ишланмалар дунё илмий ҳамжамияти томонидан эътироф этилди [12].

Биноларда энергосамоарадорликни ошириш борасида Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Физика-техника институти илмий ходимлари томонидан иссиқлик аккумулятори сифатида фазавий ўзгарувчи материаллардан фойдаланиш [13], бир ва кўп қаватли турар жой биноларининг иссиқлик-техникавий хусусиятларини моделлаштириш ва уларга инсоляцион пассив иситиш тизимлари элементларини жорий этиш [14], қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланган ҳолда Ўзбекистондаги қишлоқ уйлари энергия билан таъминлаш бўйича комплекс чора-тадбирларни оптималлаштириш ва Сувни шўрсизлантириш усуллари билан шуғулланиб, халқ учун тоза ичимлик суви етказиб беришга қаратилган илмий изланишлар олиб борилмоқда. Ушбу лойиҳа асосида яратилган сув чучутиш қурилмаси мобил ва куёш энергиясидан бошқа энергия талаб қилмаслиги билан аҳамиятга сазовордир [15].

Қуйидаги 1-жадвалда Энергетика вазирлиги мутахассислари томонидан ўрганиш натижасида Республика бўйича 2019-2020 йиллар ҳамда 2021 йилнинг 1-ярим йиллиги давомида хонадонлар, корхоналар, ташкилотлар, идоралар ва ижтимоий соҳа объектларида куёш фотоэлектрик станциялари ва куёш сув иситкичларини ўрнатилиши кўрсаткичлари бўйича маълумот келтирилган.

Таъкидлаш жоизки, соҳанинг кенг кўламли ривожини учун ҳуқуқий асосни яратиш борасида олимларимиз томонидан ишлаб чиқилган ва муомалага киритилган меъёрий-ҳуқуқий база шакллантирилган. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сонли “2015-2019 йилларда энергия сиғимини қисқартириш, иқтисодиёт тармоқларида ва ижтимоий соҳада энергия тежовчи технологияларни жорий этиш бўйича чоралар дастури тўғрисида”ги [16] Қарорида белгиланган вазифалар ижросини таъминлаш мақсадида Куёш энергияси халқаро институти томонидан 18 та давлат стандартлари ишлаб чиқилиб, «ЎзСтандарт» агентлиги Ўзбекистон стандартлаштириш, метрология ва сертификатлаштириш агентлиги томонидан рўйхатга олинган ва амалиётга жорий қилинган. Жумладан: О’з DSt/IEC 3076:2016 “Станции солнечные фотоэлектрические, подключаемые к электрическим сетям. Требования минимальные к станциям, документации, приёмке и обследованию”, О’з

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

DS/IEC 3075:2016 Системы фотоэлектрические. Термины и определения, O'z DS/IEC 62446-1:2021 "Системы фотоэлектрические (ФЭС). Требования к испытаниям, документации и техническому обслуживанию Часть 1: Системы, подключаемые к электросетям - Документация, приемосдаточные испытания и проверка"[17-19]. Бундан ташқари, ҚМҚ 2.04.16-2018 «Қуёшли иссиқ сув таъминоти қурилмалари» ва ШНК 2.04.15-20 «Фотоэлектрик станциялар» ишлаб чиқилган Қурилиш вазирлиги тизимида амалиётга жорий қилинган.

1-жадвал

Республика бўйича 2019-2020 йиллар ва 2021 йилнинг I-чораги давомида аҳоли хонадонлари, корхоналар, ташкилотлар, идоралар ва ижтимоий соҳа объектларида қуёш фотоэлектрик станциялари ва қуёш сув иситкичларини ўрнатилиши тўғрисида																
М А Ь Л У М О Т																
№/р	Худудлар	2019 йил			2020 йил			2021 йилнинг I-чораги			2021 йилнинг II-чораги			2021 йилнинг I-ярим йиллиги		
		Амалга оширилган тадбирлар	Лойиха қуввати	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Лойиха қуввати	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Лойиха қуввати	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Лойиха қуввати	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Лойиха қуввати	Лойиха қиймати
		сон	кВт	млн.сўм	сон	кВт	млн.сўм	сон	кВт	млн.сўм	сон	кВт	млн.сўм	сон	кВт	млн.сўм
		1. Қуёш фотоэлектрик станцияларини ўрнатиш														
1	Қорақалпоғистон Республикаси	62	98	1124,0	3	12	279,0	1	4	109,0	3	5	72,0	4	9	181,0
2	Андижон	89	110	1638,0	7	20	261,0	4	35	321,0	7	12	168,0	11	47	489,0
3	Бухоро	74	144	1424,0	120	72	1632,0	120	80	1620,0	24	28	420,0	144	108	2040,0
4	Жиззах	83	155	2097,0	4	12	280,0	1	6	60,0	4	6	84,0	5	12	144,0
5	Қашқадарё	76	195	2168,0	96	58	1305,0	100	74	1432,0	2	5	80,0	102	79	1512,0
6	Навоий	87	127	1494,0	8	24	430,0	1	4	35,0	8	14	196,0	9	18	231,0
7	Наманган	73	78	827,0	4	6	87,0				1	2	29,0	1	2	29,0
8	Самарқанд	232	422	3709,0	5	69	980,0	3	25	1079,8	13	18	252,0	16	43	1331,8
9	Сурхондарё	261	188	3739,0	40	12	312,0	1	6	60,0	3	7	105,0	4	13	165,0
10	Сирдарё	68	106	1267,0	11	20	423,0	2	10	120,0	2	8	112,0	4	18	232,0

11	Тошкент	143	333	5077,0	16	57	877,0	3	56	205,0	4	11	151,8	7	67	356,8
12	Фарғона	286	223	2556,0	9	23	453,0	5	19	287,0	7	16	224,0	12	35	511,0
13	Хоразм	367	112	1951,0				1	2	22,0	4	8	15,2	5	10	37,2
14	Тошкент шаҳар	96	207	2275,0	14	12	304,0	9	112	823,4	12	26	364,0	21	138	1187,4
Жами		1997	2498	31346,0	337	397	7623,0	251	433	6174,2	94	166	2273,0	345	599	8447
2. Қўёш сўв иситкичларини ўрнатиш																
	Худудлар	Амалга оширилган тадбирлар	Майдони	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Майдони	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Майдони	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Майдони	Лойиха қиймати	Амалга оширилган тадбирлар	Майдони	Лойиха қиймати
		сон	м²	млн.сўм	сон	м²	млн.сўм	сон	м²	млн.сўм	сон	м²	млн.сўм	сон	м²	млн.сўм
1	Қорақалпоғистон Республикаси	34	64,6	190,0	31	58,9	279,0				4	7,6	36,0	4	7,6	36,0
2	Андижон	110	209	512,0	13	24,7	117,0				9	17,1	81,0	9	17,1	81,0
3	Бухоро	68	129,2	351,0	34	64,6	280,0				6	11,4	49,4	6	11,4	49,4
4	Жиззах	97	184,3	453,0	16	30,4	118,0				3	5,7	22,1	3	5,7	22,1
5	Қашқадарё	112	212,8	529,0	14	26,6	151,0				2	3,8	21,6	2	3,8	21,6
6	Навоий	50	95	267,0	14	26,6	118,0				4	7,6	33,7	4	7,6	33,7
7	Наманган	33	62,7	160,0	12	22,8	104,0				2	3,8	17,3	2	3,8	17,3
8	Самарқанд	216	410,4	929,0	39	74,1	295,0				3	5,7	22,7	3	5,7	22,7
9	Сурхондарё	43	81,7	364,0	12	22,8	96,0				4	7,6	32,0	4	7,6	32,0
10	Сирдарё	45	85,5	212,0	17	32,3	116,0				2	3,8	13,6	2	3,8	13,6
11	Тошкент	308	585,2	1566,0	37	70,3	231,0				8	15,2	49,9	8	15,2	49,9
12	Фарғона	97	184,3	465,0	15	28,5	96,0				11	20,9	70,4	11	20,9	70,4
13	Хоразм	133	252,7	621,0	13	24,7	106,0				7	13,3	57,1	7	13,3	57,1

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

14	Тошкент шаҳар	386	733,4	1810,0	156	296,4	1210,0	200	380	1986,0	56	106,4	434,4	256	486,4	2420,4
	Жами	1732	3291	8429,0	423	803,7	3317,0	200	380	1986,0	121	229,9	941,3	321	609,9	2927,3

Электр тармоққа интеграцияланувчи йирик қувватли фотоэлектрик тизимларнинг актив қувватининг беқарорлигини, электроэнергетик ва техник кўрсаткичларини ҳисобга олган ҳолда уларни ЎзР энергия тизимида хавфсиз интеграциялаш учун рухсат этиладиган қувватлар аниқланган, шунингдек, электр тармоқларига интеграцияланган фотоэлектрик станцияларни ўрнатиш учун Ўзбекистон Республикасининг энг қулай ҳудудлари аниқланган ҳамда мазкур турдаги фотоэлектрик тизимларнинг техник, иқтисодий ва экологик кўрсаткичлари аниқланган [20]. Фотоэлектрик тизим ва унинг таркибий қисмлари ҳолати тўғрисидаги маълумотларни мунтазам йиғиб бориш ҳисобига станциялар ҳолатининг ўзгаришини аниқлаш ва юзага келиши мумкин бўлган салбий ҳолатларини эрта башоратлаш имконини берувчи фотоэлектрик станцияларни комплекс мониторинг қилиш услубияти ва шу асосда мониторингни амалга ошириш учун ишлаб чиқилган дастурий маҳсулот ҳамда рақамли вольтметр-қурилмаси ишлаб чиқилган. Олинган натижалар асосида кичик қувватли фотоэлектрик станцияларни комплекс мониторинг қилиш тизими ишлаб чиқилиб ҳозирда амалиётда қўлланилмоқда [20, 21].

Амалга киритилган бу стандартлар мамлакатда қайта тикланувчи энергия манбалари, жумладан қуёш энергияси асосидаги энергетик қурилмалар ва тизимлардан иқтисодиётимиз тармоқларида кенг қўламда фойдаланишни ривожлантиришга ҳуқуқий-техник асос бўлиб хизмат қилмоқда. Бундан ташқари, Қуёш энергияси халқаро институти билан «Henan Suda Electric Vehicle Technology Co., Ltd.» (XXP) компанияси ўртасида асосий йўналишларидан бири Ўзбекистон Республикасида электромобилларни ишлаб чиқариш технологиясини жорий этиш ва ривожлантиришдан иборат бўлган ҳамкорлик тўғрисидаги битими имзоланди ва мазкур битимни амалга ошириш доирасида мазкур компания 2019 йил август ойида ҚЭХИ манзилига тегишли жиҳозлар тўплами билан биргаликда қиймати 568 минг АҚШ доллариға тенг бўлган 20 та электромобилларни синов ва илмий мақсадлар учун ҳомийлик ва беғараз техник кўмак кўринишида юборди. Мазкур электромобилларни тез зарядловчи қуввати 120 кВт бўлган қувватлаш станциялари ҳамкорлар томонидан институтга етказиб берилди ва ишга туширилди. Шунингдек Институдда SRO полдан иситиш тизими, иссиқлик насослари ва қуёш технологияларидан фойдаланган ҳолда, ўзини ўзи энергия билан таъминлайдиган энергиясамарадор уй “Sample House” қурилган ва изланишлар олиб борилган.

Олиб борилаётган ҳуқуқий, меъёрий ва ташкилий чора-тадбирлар натижасида мамлакат ички бозорида қуёш энергетикаси соҳасида янги технологиялар ва қурилмалар ишлаб чиқиш, ўрнатиш ва улгуржи савдога чиқариш хизматларини амалга ошириб келаётган маҳаллий ишлаб чиқарувчи

ташкилотлар - “MIR SOLAR”, “Solar Nature”, “All Solar”, “SUN-HIGHTECH” каби масъулияти чекланган жамиятлар ўзининг мустақкам ўрнига эга бўлди [22-25].

Мамлакатда сўнгги йилларда мазкур ташкилотлар томонидан соҳа ривожига қатор истикболли инновацион ва инвестицион лойиҳалар амалга оширилмоқда. Яқин кунларгача улар томонидан кичик қувватли фотоэлектрик станциялар (кўпи билан 20-30кВт) ўрнатиш бўйича лойиҳалар амалга оширилган бўлса, бугунги кунда нисбатан катта қувватли фотоэлектрик станцияларни лойиҳаллаштириш, режалаштириш ва ўрнатиш бўйича лойиҳалар амалга оширилмоқда. Хусусан, “SUN-HIGHTECH” МЧЖ томонидан 100 кВт қувватли қуёш станцияси Д.И.Менделеев номидаги Россия кимё-технология университетининг Тошкент шаҳридаги филиалида ишга туширилди (1-расм).

Шунингдек, “ALL SOLAR” ХК томонидан Самаркандда 2018 йилда 130 кВт қувватли қуёш электр станцияси “SAMARKAND APPAREL” МЧЖ корхонасига ўз эҳтиёжлари учун ўрнатилиб ишга туширилган (2-расм.) Бундан ташқари, “MIR SOLAR” МЧЖ компанияси томонидан 500 кВт қувватли қуёш станцияси Бектемир туманида ишга туширилиши режалаштирилмоқда (3-расм).



1-расм. “SUN-HIGHTECH” МЧЖ томонидан Д.И.Менделеев номидаги Россия кимё-технология университетининг Тошкент шаҳри филиалида ўрнатилган қуввати 100 кВт бўлган қуёш станцияси



2-расм. “ALL SOLAR” ХК томонидан “SAMARKAND APPAREL” МЧЖ корхонаси эҳтиёжлари учун ўрнатилган ва ишга туширилган қуввати 130 кВт бўлган қуёш электр станцияси



3-расм. “MIR SOLAR” компанияси томонидан Бектемир туманида ишга туширилиши режалаштирилган, қуввати 500 кВт бўлган қуёш станцияси.

Шунингдек, мамлакатда соҳадаги ишларни етакчи мамлакатлар билан ҳамқадам ривожлантириш мақсадида Жаҳон банки, Осиё тараққиёт банки (ОТБ), Европа тикланиш ва тараққиёт банки (ЕТТБ), USAID ва бошқа халқаро ташкилотлар билан ҳамкорлик ишлари ҳам йўлга қўйилган. Жумладан, Осиё тараққиёт банки қўмағида амалга оширилган лойиҳалар (S-CDTA-7846: “Design and Strengthening of the International Solar Energy Institute (ISEI)”, TA 8008 «Solar energy development in Uzbekistan») доирасида республика ҳудудида қуёш энергияси манбалари асосидаги йирик станцияларни ўрнатиш ва ишлатиш иқтисодий нуқтаи назардан мақсадга мувофиқлиги асослаб берилган [26, 27].

Бундан ташқари, **Бирлашган Араб Амирликларининг «Abu Dhabi Future Energy Company PJSC – Masdar»** компанияси Республикада умумий қуввати 500 МВт бўлган шамол электр станциясини лойиҳалаш, молиялаштириш, қуриш ва эксплуатация қилиш лойиҳасини биргаликда амалга ошириш бўйича инвестиция лойиҳасини амалга оширмоқда. Мазкур компания шунингдек, Навоий вилоятининг Кармана туманида қайта тикланувчи энергия манбалари асосида фаолият юритувчи саноат миқёсидаги илк генерация қилинадиган электр станцияси – қуввати 100 МВт бўлган **қуёш фотоэлектр станцияси қурилишига киришди** [28].

Шунингдек, Энергетика вазирлиги, Давлат геология қўмитаси ва **«ACWA Power»** компанияси билан ҳамкорликда Бухоро вилоятининг Пешку туманида «Қуввати 500 МВт бўлган Жонкелди шамол электр станциясини қуриш», шунингдек, Ғиждувон туманида «Қуввати 500 МВт бўлган Бош шамол электр станциясини қуриш» инвестиция лойиҳаларини амалга оширмоқда. Мазкур лойиҳалар умумий қиймати қарийб 1,3 миллиард долларни ташкил этиши ҳамда углеводород чиқиндиларини 1,6 миллион тоннага қисқартириш имконини бериши билан аҳамиятлидир [29].

Бажарилган ишлар негизида, шунингдек, қурилиш, энергетика ва таълим тизимида соҳани кенг кўламда ривожлантириш йўлидаги изланишларни тизимли ва мақсадли ташкиллаштирилишини таъминлаш мақсадида, жорий йилнинг 9 апрелида Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Ўзбекистон Республикасида қайта тикланувчи ва водород энергетикасини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 5063-сонли Қарори қабул қилинди [30]. Ушбу қарор билан ташкил этилаётган Қайта тикланувчи энергия манбалари Миллий илмий тадқиқот институти республика энергетика хавфсизлигини мустаҳкамлаш мақсадида иқтисодиётнинг углеводород қазилма ёқилғисига қарамлигини бартараф этишга қаратилган биринчи галдаги муҳим чора-тадбирларни мақсадли ва тизимли амалга ошириш, мамлакатда қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш кўламини кенгайтириш ҳамда водород энергетикаси инфраструктурасини барпо этиш этиш бўйича босқичма-босқич амалга ошириш, қайта тикланувчи энергия ва водородни ишлаб чиқариш, етказиб бериш ва улардан самарали фойдаланиш масалалари бўйича меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатлар лойиҳалари ҳамда техник жиҳатдан тартибга солиш соҳасидаги норматив ҳужжатларни ишлаб чиқиш ва (ёки) уларни халқаро (давлатлараро, минтақавий) стандартлар талабларига мослаштириш, соҳага оид янги технологиялар ва қурилмаларни сертификатлаштириш ҳамда синаш ишларини йўлга қўювчи ва тартибга солувчи муҳим таркибий тузилма бўлиб ҳисобланади. Мазкур ташкилотда фотоэнергетик тизимлар, шамол, сув, биомасса энергияси ва табиий иссиқлик манбалари, муқобил энергия манбаларини тармоққа интеграциялаш, қуёшӣ иситиш ва совутиш тизимлари, иқлим ўзгарувчанлиги ва барқарор ривожланиш ҳамда энергетик объектларнинг техноген хавфсизлиги каби бугунги кунда энергетиклар олдида турган ва дунё миқёсида долзарб ҳисобланган муҳим масалалар юзасидан илмий-тадқиқот изланишларини олиб бориш режалаштирилган.

Олимларимиз томонидан соҳа ривожӣ йўлида илмий тадқиқотлар олиб борилиши билан бирга, изланишлар натижалари бўлган илмий ишланмалар ва технологияларни тижоратлаштириш масалалари ҳам ҳукуматимиз ва раҳбарият эътиборидан четда қолаётгани йўқ. Хусусан, Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институтида маҳаллий ишлаб чиқарилаётган ва трансфер асосида олиб келинаётган соҳа технологияларини сертификатлаш ва синовдан ўтказиш билан ишлаб чиқаришга жорий этиш, шунингдек, мамлакатда қурилаётган объектларни энергетик кўрсаткичлар асосида чуқур аудит таҳлилини ўтказиш асосида қурилаётган турар-жой бинолари ва иншоотларни жаҳон стандартлари ва халқаро андозалар даражасига чиқариш орқали аҳолининг турмуш даражасини ошириш муаммолари яқин истиқболдаги энг муҳим вазифалар бўлиб ҳисобланмоқда.

Мақолада келтириб ўтилган рақам, далиллар, олдиндаги режалардан хулоса қилган ҳолда айтиш мумкинки, Ўзбекистоннинг ёқилғӣ-энергетика балансида қайта тикланувчи энергия манбалари улушини ошириб бориш

бугуннинг муҳим вазифаларидан биридир. Юқорида таъкидлаб ўтилган инвестицион лойиҳалар, эришилган ютуқ ва натижалар мамлакатимизда «яшил энергия» манбаларидан мустақил равишда фойдаланиш учун замин тайёрлайди, давлат миқёсида амалга оширилаётган йирик лойиҳалар эса ўз навбатида, аҳоли турар-жойлари ва иншоотларини, кичик ва ўрта бизнес корхоналари биноларини энергиятежамкорлик ва энергиясамарадорлик нуқтаи назаридан юқори аниқликда илмий башоратланган ишлаб чиқариш қувватлари бўйича пухта муҳандислик хулосаларига таянган ҳолда қуриш имконини яратади. Бу эса ўз навбатида қайта тикланувчи энергия манбалари асосида ишлаб чиқарилган ва ўз эҳтиёжидан ортган электр энергияни энергетика бозорида сотиш орқали иқтисодий фойда олиш, марказлашган энергия таъминотидан узоқда жойлашган олис ҳудудлар аҳолисини ишончли, узлуксиз, “тоза” электр энергияси билан таъминлаш, шу билан бирга олис ҳудудларда янги иш ўринлари яратилишига асос бўлиб хизмат қилади.

Мутахассислар таъкидлаганидек, мамлакатда қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасида меъёрий-ҳуқуқий база, юқори малакали кадрлар инфратузилмаси, энг сўнгги, замонавий технологиялар мавжуд, соҳа ривожини йўлидаги кейинги қадам – қайта тикланувчи энергия манбаларидан кенг қўлланма фойдаланишнинг зарурияти ва аҳамияти, иқтисодиёт тармоқларида тутган ўрни, яқин келажакда эришилиши мумкин бўлган ютуқлар тўғрисида оммани хабардор қилиш, “Бир сўз билан айтганда, қанчалик қиммат ва мураккаб бўлмасин, «яшил энергия» — давр талаби” эканлигини омма эътиборига ҳавола қилиш бугунги кундаги энг долзарб вазифадир [31].

Адабиёт

1. Ўзбекистон Республикасининг 2019 йил 21 майдаги “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида” ги ЎРҚ-539-сонли Қонуни.
2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги №ПФ-4947-сонли Фармони.
3. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 22 июлдаги “Электр энергияси, шу жумладан, энергиянинг қайта тикланадиган манбаларидан электр энергияси ишлаб чиқарадиган тадбиркорлик субъектларини ягона электроэнергетика тизимига улаш регламентини тасдиқлаш тўғрисида” ги 610-сонли қарори.
4. N.R. Avezova, S.E. Frid, N.V. Lisitskaya, E.Yu. Rakhimov. Resource indicators of solar PV plants in the Republic of Uzbekistan. Part 2.Verification of satellite actinometric and reanalysis data for the conditions of the Republic of Uzbekistan// Geliotekhnika, 2019, Vol. 55, No. 4, pp. 375-387.
5. Зокиров Ш.Э. Энергия ресурсларидан самарали фойдаланишнинг хориж тажрибаси// “Иқтисодиёт ва инновацион

технологиялар” илмий электрон журнали. № 2, март-апрель, 2/2018 (№ 00034).

6. Электрон манба: <https://imssolar.uz/katta-quyosh-sandoni/>.
7. https://fti.uz/uz/faoliyatlar/?SECTION_ID=229 Физика-техника институт ҳузуридаги 05.05.06- Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари ихтисослиги бўйича илмий даражалар берувчи DSc.30.05.2018.ФМ./Т.34.01 рақамли илмий кенгаш.
8. Электрон манба: <https://oak.uz/pages/36> Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари ихтисослиги бўйича илмий даражалар берувчи DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 рақамли илмий кенгаш.
9. Электрон манба: <https://oak.uz/pages/36> Фарғона политехника институти ҳузуридаги Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари ихтисослиги бўйича илмий даражалар берувчи PhD.03/27.02.2020.Т.106.02 рақамли илмий кенгаш.
10. Электрон манба: <https://oak.uz/pages/36> Қарши муҳандислик-иктисодиёт институти ҳузуридаги Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари ихтисослиги бўйича илмий даража берувчи. PhD.03/30.06.2020.Т.111.02 рақамли илмий кенгаш.
11. ЭҲМ дастури расмий рўйхатдан ўтганлиги тўғрисида гувоҳнома: Гувоҳнома РУз № BGU 00374, 11.04.2019.// Расмий ахборотнома. –2019. -№ 4.
12. Avezova N.R, Rahimov E.Yu., Izzatillaev J.O. Resource Indicators Used for Solar Photovoltaic Plants in Uzbekistan Part 1//Applied Solar Energy. –USA. 2018, Vol. 54, №4, pp. 273–278. (05.00.00; №4).
13. A.Halimov, M.Nürenberg, D.Müller, J.Akhatov. Meta-modelling an optimal design of building envelopes integrated with phase change and insulation materials//Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» 22-23 сентября 2020г, ст 63-72.
14. R.R. Avezov, K.A. Samiev. Technique for calculation of optical characteristics of two-And three-layer light transmissive screens in insolation passive solar heating systems//Applied Solar Energy 2006/3, pp 45-49.
15. H.Sh. Aybar, J.S. Akhatov, N.R. Avezova, A.S. Halimov. Solar powered RO desalination: Investigations on pilot project of PV powered RO desalination system. // Applied Solar Energy, 2010/12, Volume 46, Issue 4, pp.275-284.
16. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 майдаги “2015-2019 йилларда энергия сифимини қисқартириш, иқтисодиёт тармоқларида ва ижтимоий соҳада энергия тежовчи технологияларни жорий этиш бўйича чоралар дастури тўғрисида”ги ПҚ-2343-сонли қарори.

17. “Станции солнечные фотоэлектрические подключаемые к электрическим сетям. Требования минимальные к станциям, документации, приёмке и обследованию” O’z DSt/IEC 3076:2016.
18. “Системы фотоэлектрические. Термины и определения Издание официальное,” O’z DSt/IEC 3075:2016.
19. “Системы фотоэлектрические (ФЭС). Требования к испытаниям, документации и техническому обслуживанию Часть 1: Системы, подключаемые к электросетям - Документация, приемосдаточные испытания и проверка.” O’z DSt/IEC 62446-1:2021.
20. Матчанов Н.А. Комплексное исследование фотоэнергетических систем и их интеграции к электрической сети. Автореф. дисс. д-ра тех.наук. – Ташкент, 2020, -38 с.
<https://interaktiv.oak.uz/avtoreferat/3a0830f01.file>.
21. Matchanov N.A., Butunbaev B.N, Saidov D.Sh., K.A. Bobojonov. Monitoring system for low power photovoltaic stations // Applied Solar Energy, 2020, vol.56, no 1, pp.464-469.
22. Электрон манба: http://solarmir.uz/?page_id=7.
23. Электрон манба: <https://solarnature.uz/about/>.
24. Электрон манба: <https://all-solar.uz/%d0%be-%d0%bd%d0%b0%d%>.
25. Электрон манба: <https://sunhightech.uz/>.
26. Электрон манба: <https://www.adb.org/sites/default/files/project-document/79057/45120-002-uzb-tcr.pdf>.
27. <https://www.adb.org/projects/45120-001/main>.
28. Электрон манба: <http://minenergy.uz/uz/news/view/956>.
29. Электрон манба: <http://minenergy.uz/uz/news/view/685>.
30. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 9 апрелдаги “Ўзбекистон Республикасида қайта тикланувчи ва водород энергетикасини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПҚ-5063 сонли қарори.
31. <http://uzbekistonmet.uz/uz/lists/view/521>.

*Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги
ҳузуридаги “Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-
тадқиқот институти” ҳамда Тошкент давлат техника
университети томонидан тақдим этилган*

УДК: 622.235 (043.3)

**КОН-МЕТАЛЛУРГИЯ КОРХОНАЛАРИНИ
РИВОЖЛАНТИРИШДА ИННОВАЦИОН КЛАСТЕРЛАРНИНГ
АҲАМИЯТИ**

Ф.Я. Умаров, М.И. Каримов

Мақолада кластер тушунчасининг келиб чиқиши, уни тадқиқ этган дунёнинг етакчи олимларининг илмий-назарий ўзига хос ёндашувлари келтириб ўтилган. Кластерларнинг фаолият юритиши учун зарур бўлган таркибий қисмларнинг таҳлили берилган. Ўзаро узвий боғлиқ бўлган иқтисодий категориялар сифат ва самарадорлик ошиишида кластерларнинг ўрни ва долзарблигига қаратилган фикрлар мавжуд. Хорижий мамлакатларда кластерларни жорий қилиш бўйича етакчилардан бўлган Дания, Финляндия, Норвегия, Швеция каби мамлакатларнинг инновацион фаолияти хусусида маълумотлар ва изланишларнинг натижалари келтирилган.

Мамлакатимизда кончилик саноати корхоналари стратегик ривожлантиришининг 2023 йилгача белгиланган йўналишларига асосан, эришилиши зарур бўлган иқтисодий самарадорлиги юқори бўлган меъёрлар белгилаб олинган. Инновацион кластерларни амалиётга жорий қилиш натижасида атроф-муҳитга зарар келтирмаган ҳолда янги технологиялар ва замонавий ускуналардан фаол фойдаланишни йўлга қўйиш хусусида ёндашувлар таклиф этилган. Инновацион кластерлар моҳияти ва аҳамияти ёритилган. Кон-металлургия корхоналарини рақобатбардошлигини оширишида ўзига хос хусусиятлари ва муаммоларини ҳисобга олган ҳолда миллий кон металлургия кластери ишлаб чиқилган. Кон-металлургия комплекси таркибига инновацион кластерларни жойлаштириш жараёнлари ҳисобига юқори қўшимча қийматга эга бўлган маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кўпайтириш, инновацион жараёнларни фаоллаштиришга ва янги етишиб чиқаётган кадрларларни иш билан таъминлашга тўртки бериши хусусида айтиб ўтилган.

В статье раскрывается происхождение кластера, научно-теоретические особенности подходов ведущих ученых, которые изучали кластеры. Приведен анализ необходимых компонентов для введения и функционирования кластеров. Взаимодействующие экономические категории имеют идеи, направленные на роль и актуальность кластеров в росте качества и эффективности. Приведены исследования ведущих

зарубежных стран, ориентированные на инновационную деятельность: Дания, Финляндия, Норвегия, Швеция. В нашей стране предприятия горнодобывающей промышленности, согласно установленному направлению развития до 2023 года, были определены как предприятия с высоким уровнем экономической эффективности. В результате практики инновационных кластеров были предложены подходы по активному использованию новых технологий и современных видов оборудования, не наносящих вред окружающей среде. Приведены сущность и важность инновационных кластеров. Был разработан национальный металлургический кластер, принимающий во внимание его специфику и проблемы о повышения конкурентоспособности горных металлургических предприятий. Было предложено, что горнодобывающий и металлургический комплексы увеличивают производство с высокой добавленной стоимостью. В связи с активацией инновационных кластеров, необходимо подготовить и обеспечить работой подрастающее кадровое поколение.

The article reveals the origin of the cluster, scientific and theoretical approaches of the world's leading scientists who studied it. An analysis of the necessary components is given to conduct clusters. Interactive economic categories have ideas aimed at the role and relevance of clusters in quality and efficiency growth. Studies of leading foreign countries based on innovative activity as Denmark, Finland, Norway, Sweden are presented. In our country, the enterprise of the mining industry, in accordance with the established direction of the designated development until 2023, were determined with a high level of economic efficiency of the necessary development. As a result of the practice of innovative clusters, approaches were proposed to establishing the active use of new technologies and modern equipment, without bringing harm to the environment. The essence and importance of innovative clusters are given. The National Metallurgical Cluster of Production was developed, taking into account its specifics and problems in increasing the competitiveness and tasks of mining metallurgical enterprises. It was proposed that the mining and metallurgical complex increases the production of high value added, due to the activation of innovative clusters that activate innovative processes and ensure the work of a new smaller personnel.

Кириш. Бугун мамлакатимизнинг иқтисодий қудрати ва салоҳияти бутун дунё микёсида ўзига хос ва мос равишда намоён бўлмоқда. Жаҳон бозорида рақобатлаша оладиган сифатли маҳсулотлар етиштириш ҳамда бу жараёнга ишончли ва истикболли ускуналарни жорий этиш замон талабига айланиб улгурди. Барча соҳаларда кластер усулини қўллаш

ютуқларини кўпайтирибгина қолмай, балки хизматлар ва маҳсулотнинг сифат кўрсаткичини оширади.

Кластерлар бизнес, тадқиқотлар ва ресурслар ўртасидаги бўшлиқни тўлдиришга ёрдам бериб, бозорга ҳам тез суръатларда билимларни етказди. Муваффақиятли кластерлар рақобат билан бир вақтнинг ўзида инвестицияларни жалб этади, саноат базасини кучайтиради, махсус маҳсулотлар ва хизматларни ишлаб чиқади ҳамда малака ошириш пойдеворига айланади.

Тадқиқот методологияси: тадқиқотни олиб боришда тизимли ва мажмуавий ёндашув, таҳлил учун статистик усуллардан фойдаланилган.

Адабиётлар шарҳи. М.Портер кластерли ривожланиш назариясининг асосчиси ҳисобланади, у мазкур масалани турли мамлакатларнинг 100 дан зиёд тармоқларидаги рақобат вазиятларини тадқиқ этиш орқали ўрганган.

Илмий адабиётларда “кластер” тушунчасининг умумий эътирофига эга ягона бир таърифи мавжуд эмас. Иқтисодга оид адабиётларда эса бу тушунчага жуда кўп таърифлар келтирилади ва улар иқтисодий ривожланишнинг кластер назариясининг асоси ҳисобланади.

А.А.Миграняннинг фикрича, кластер иқтисодий фаолиятнинг нисбатан самарали ва бир-бири билан боғлиқ турларининг мажмуи, яъни муваффақият билан рақобат қилувчи ўзаро боғлиқ гуруҳлар тўплами бўлиб, тармоқ миллий ва жаҳон бозорларида рақобатчилик вазиятларини таъминлаб беради.

Э.Фезернинг фикрича, иқтисодий кластерлар тармоқлар ва институтларни нафақат боғлаб турувчиси ва қўллаб-қувватловчиси ҳисобланади, балки уларнинг ўзаро ҳамкорлик қилишлари асосида нисбатан рақобатбардош бўлган ўзаро боғлиқ ва қўллаб-қувватловчи институтлардир.

Х.Шмитцнинг таърифича кластер - бир тармоққа тегишли ёки бир-бирига узвий яқинликда фаолият кўрсатадиган корхоналар гуруҳи.

Таҳлил. “Кластер” (инглизча, cluster) – муайян йўналишда ўзлаштирилган ишлаб чиқариш ёки хизмат кўрсатиш соҳасининг ўзгарувчан элементидир. Иқтисодий кластер – маълум бир ҳудудга (компаниялар, корпорациялар, университетлар, банклар ва бошқалар) қаратилган бир-бирига боғлиқ ташкилотлар гуруҳидир: маҳсулотлар, таркибий қисмлар ва ихтисослаштирилган хизматлар, етказиб берувчилар, инфратузилма, тадқиқот институтлари, университетлар ва бир- бирини тўлдирадиган айрим компаниялар ва бутун гуруҳнинг рақобатбардош афзалликларини оширадиган бошқа ташкилотлардир [1].

Бизнинг фикримизча, металлургия кластери тармоқнинг умумий мақсадга эришишида (руда қазиб олиш, концентратни олиш, металл

ишлаб чиқариш, техноген ресурслардан металлни ажратиб олиш) барқарор кооперация алоқаларини интеграциясига асосланган инновацион хўжалик тузилмаси ҳисобланади.

Кластер усулида ишни ташкил этиш бир қатор қулайлик ва афзалликларни яратиб беради. Жумладан, замонавий усуллар ва интенсив технологиялар жадал ўзлаштирилади. Мавжуд моддий техника воситаларини тубдан яхшилаш эвазига маҳсулот ишлаб чиқариш ҳажми кўпаяди.

Айни пайтда мамлакатимизда кластер тизимини ривожлантиришга жиддий эътибор қаратилаётгани бежиз эмас. Жараённинг бир - бири билан узвий боғлиқлиги сифат ва самарадорликнинг ошишига хизмат қилади.

Экспертлар ҳисоб-китобларига кўра, бугунги кунда дунёдаги илғор давлатлар иқтисодиётининг қарийб 50 фоизи кластер усулига ўтган. Масалан, Европа Иттифоқида 2 мингдан зиёд кластерлар мавжуд бўлиб, уларда ишчи кучининг 38 фоизи қамраб олинган. Дания, Финляндия, Норвегия, Швеция саноатида тўлиқ кластер усули татбиқ қилинган. АҚШда эса мамлакатдаги мавжуд корхоналарнинг ярмидан зиёди шу тизимда ишлаб, улар томонидан тайёрланаётган товарлар ялпи ички маҳсулотнинг 60 фоизини ташкил қилади [2].

Натижалар. Республикада тоғ-кон ва қайта ишлаш корхоналари қувватларини ошириш мақсадида минерал-хомашё базасидан фойдаланиш ва қайта ишлаш самарадорлигини ошириш, инвестицияларни фаол жалб этиш бўйича тизимли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда.

Кон-металлургия тармоғининг йирик корхоналари — «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК, «Олмалиқ кон-металлургия комбинати» АЖ ва «Ўзбекистон металлургия комбинати» АЖда стратегик турдаги маҳсулотлар, жумладан олтин, кумуш, мис, рух ва пўлат прокати каби маҳсулотлар, шунингдек 20 дан ортиқ турдаги бошқа саноат маҳсулотлари ишлаб чиқарилмоқда.

Сўнгги икки йил давомида кон-металлургия тармоғининг йирик корхоналарини жадал ривожлантириш, модернизация қилиш ва ишлаб чиқаришни кенгайтиришга қаратилган узоқ муддатли дастурлар қабул қилинди. 2026 йилгача «Навоий КМК» ДКда маҳсулот ишлаб чиқариш ҳажмини 30 фоизга, «Олмалиқ КМК» АЖга 2,9 млрд. АҚШ доллари миқдорида инвестициялар жалб этиш ва 2023 йилгача мис ишлаб чиқариш ҳажмини 28 фоизга, рух ишлаб чиқариш ҳажмини 75 фоизга ошириш кўзда тутилган [3]

Олмалиқ кон-металлургия комбинати акциядорлик жамияти — рангли металл саноатининг етакчиларидан бўлиб, тоғ жинсларини

қазиб олиш ва қайта ишлаш бўйича нафақат республикада, балки Ўрта Осиё минтақасидаги энг йирик корхоналаридан биридир. Комбинатнинг Осиё минтақасидаги улуши салмоқли бўлиб, йиллик солиқ ўтказмалари давлат капиталининг 3,6 фоизини, мамлакатимиз экспорт тизимида 10 фоизга яқинини ташкил қилади.

Ишлаб чиқаришнинг жорий ҳолатини ўрганиш ҳамда Олмалиқ кон-металлургия комбинатининг келгуси фаолияти самарадорлигини ошириш мақсадида қилинаётган ишлардан бири нодир металллар ва қаттиқ қотишмаларни ишлаб чиқариш бўйича илмий-ишлаб чиқариш бирлашмаси Илмий-технологик марказининг ташкил этилишидир.

Олмалиқ ва Навоий кон-металлургия комбинатларининг чиқиндилари таркибидаги нодир металлларни ажратиб олиш вазифаси долзарб ҳисобланади. Икки йирик корхона фаолияти давомида йиғилиб қолган чиқиндилари 1,5 миллиард тоннани ташкил этиб, уларда 20 хил нодир металл бор.

Нодир металллар телевизор, мобил телефонлар, компьютер ишлаб чиқаришда зарурдир. Нодир металллар шу жиҳозларни яратишда жуда кам миқдорда ишлатилади, аммо улар ўз номига яраша нодир бўлгани учун ҳам табиатда кам учрайди. Бир тонна рудадан 100 грамм нодир металл олинади, шунинг учун ҳам нодир металллар кўп миқдорда олинadиган металлларнинг қолдиқларидан ажратиб олинади.

Нодир металлларсиз инновацион ускуналарни яратиш, муқобил энергия манбаларидан фойдаланишни тасаввур этиб бўлмайди. Қазилма бойликлардан фойдаланишни камайтириш, атроф-муҳитга зарар келтирмаслик замирида янги технологиялар ётаркан, замонавий ускуналарни аввало ўз юртимизда ишлаб чиқарилишини таъминлашимиз керак. Нодир металллар эса бу соҳада етакчилиқни қўлга киритишимизда ёрдам беради.

Ҳозирги кунда ҳар қандай давлат саноатининг иқтисодий ривожланиш даражаси чўян ва металлни қанча ишлатгани билан эмас, балки нодир металлларни ишлаб чиқаришда қанчалик фойдаланишига боғлиқ. Нодир металллар саноатнинг ўзига хос витамини бўлиб, тирик организм микрограммлар билан ўлчанадиган витаминларсиз ривожлана олмаганидек, илғор замонавий саноат ҳам нодир металлларсиз тараққий этмайди.

Металлургия корхоналарини барқарор ривожланиши учун, бизнинг фикримизча, даставвал қуйидаги вазифаларни ҳал қилиш керак:

минерал хомашё базасини мустаҳкамлаш; минерал хомашёдан комплекс фойдаланиш; ишлаб чиқаришни барча даражаларида маҳсулот таннархини пасайтириш; техноген ресурслардан асосий хомашё сифатида фойдаланишни йўлга қўйиш; асосий воситаларни янгилаш.

Шунингдек, кон-металлургия тармоғининг йирик корхоналаридаги мавжуд бошқарув тузилмаси, фойдали қазилмалар захираларининг ҳисобини юритиш ва баҳолаш услублари, молиявий ҳисоботларнинг эскирган шакллари ишлаб чиқаришнинг ўсишига ва инвестициявий жозибadorликнинг ошишига ва рақобат муҳитини шаклланишига тўсқинлик қилмоқда

Миллий инновацион кон металлургия кластерини ривожлантириш мавжуд корхоналарни модернизация қилиш, минерал хомашёдан комплекс фойдаланиш, техноген ресурслардан фойдаланиш имкониятини инновацион технологияларни қўллаш бўйича илмий-техник ютуқларга эришиш ва рақобатбардош маҳсулотларни ишлаб чиқариш асосида шаклланиши лозим.

Қуйида чизмада миллий кон металлургия кластери таркиби келтирилган.



Хулоса. Кон-металлургия кластер тизимларини яратиш илмий тадқиқотлар ва ишланмаларни молиялаштириш ҳажмини кўпайтиради, сифатини яхшилайдиган, илмий тадқиқот ишларини техник таъминот даражасини юксалтиради, инвестициявий ташқи лойиҳаларда иштирок этиш, илмий педагогик кадрлар тайёрлаш ва малакасини оширишнинг имкониятларини яратади.

Кон-металлургия комплексига кластерларни қўллаш жараёнлари эса юқори қўшимча қийматга эга маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кўпайтириш, инновацион жараёнларни фаоллаштиришга туртки беради. У хомашёни комплекс қайта ишлаш, тежамкор технологиялардан фойдаланиш, ихтисослашув ва кооперация даражаларини чуқурлаштиришни таъминлайди. Бу эса кластер таркибига қирадиган корхоналар маҳсулотлари ҳамда хизматларининг миллий ва халқаро бозорлардаги рақобатбардошлигини оширади.

Адабиётлар

1. Ўзбекистон Республикаси “Инновацион фаолият тўғрисида”ги 24.07.2020 йилдаги 630-сонли қонуни.

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Иқтисодиёт тармоқлари ва соҳаларига инновацияларни жорий этиш механизмларини такомиллаштириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” қарори, // Халқ сўзи, 2018 йил 8 май, 92-сон.
3. Вазирлар Маҳкамасининг “Қорақалпоғистон Республикасининг Мўйноқ туманини комплекс ижтимоий-иқтисодий ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида” 37-сонли қарори 2019 йил 16 январь.
4. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сонли Фармони.// Lex.uz. Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси.
5. Гловели, Г. Д. Экономическая история в 2 т. Том 1 : учебник для академического бакалавриата . - Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 459 с.
6. Портер Майкл. Конкуренция: Пер. с англ. / Майкл Портер. – М.: Вильямс, 2003. 605 с.
7. Enright M.J. Why Clusters are the Way to Win the Game? // Word Link. 1992. July/August. No 5. p. 24-25.
8. Беспалов М.В. Роль и значение инновационных кластеров в осуществлении национальных и региональных инновационных программ развития // Качество. Инновации. Образование. 2009. – С. 2.
9. Clayton Christensen “Что дальше? Теория инноваций инструмент предсказания отраслевых изменений”, Нью-Йорк, 2004.
10. Nathan Furr, Jeff Dyer, Clayton Christensen “Создавая инновации”, Нью-Йорк, 2004.
11. Пардаев М.Қ., Пардаев О.М. Қашқадарё вилояти иқтисодиётини ривожлантиришда инновациялардан фойдаланишнинг ташкилий-иқтисодий механизмларини такомиллаштириш // Инновацион ривожланиш асосида миллий иқтисодиётни модернизациялаш: муаммолари, ечимлари ва истикболлари. – 2015, - 22 б.
12. Муродов Ч. Қишлоқда бозор инфратузилмаси асосларини шакллантириш // Ўзбекистон иқтисодий ахборотномаси. – Тошкент, 1999. - № 3. б. 2 – 4.
13. Ферова И.С., Коженова Т.В., Шорохов Р.Г. Промышленные кластеры и их роль в развитии промышленной политики региона. –М.: ИН-ФРА-М; Красноярск. 2018: - 247 с.
14. Enright M. J. The globalization of competition and the localization of competitive advantage: policies towards regional clustering //The globalization of multinational enterprise activity and economic development. – Palgrave Macmillan, London, 2000. – с. 303-331.
15. Горшенева О.В. Кластеры: сущность, виды, принципы организации и создания в регионах // Экон. вестн. Ростов. гос. ун-та. 2016. № 4.

16. Navickas V., Malakauskaite A. The impact of clusterization on the development of small and medium-sized enterprise (SME) sector //Journal of Business Economics and Management. – 2009. – Т. 10. – №. 3. – С. 255-259.

17. Pinch S. et al. From ‘industrial districts’ to ‘knowledge clusters’: a model of knowledge dissemination and competitive advantage in industrial agglomerations //Journal of economic geography. – 2003. – Т. 3. – №. 4. – С. 373-388.

18. Толстых Т.О. Формирование инфраструктуры для создания инновационных кластеров как инструмент конкурентоспособности промышленных предприятий. <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-infrastruktury-dlya-sozdaniya-innovatsionnyh-klasterov-kak-instrument-konkurentosposobnosti-promyshlennyh>

19. Дуненкова Е.Н. Формирование инновационных кластеров на основе кластерных инициатив // Вестник Университета СПбГУ, № 9, 2015. – 30-35 с.

20. Расулов Т.С., Махмасобирова Н.У. Инновацион кластерларни шакллантиришнинг Америка кўшма штатлари тажрибаси // Жаҳон иқтисодиёти журнали. 2017, № 7.– 16-26 б.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*



**Доктор технических наук, профессор
Авезов Раббанакул Рахмонович
(1942-2021)**

Имя Раббанакула Рахмоновича Авезова широко известно среди геолитотехников, теплотехников и теплоэнергетиков нашей страны и в международных научных кругах.

Р.Р. Авезов родился 8 марта 1942 года в Алатском районе Бухарской области. В 1965 году окончил с отличием физико-математический факультет Бухарского государственного педагогического института по специальности «Физика и основы индустриального производства». В 1971 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование по комбинированному использованию гелиоустановок для отопления и охлаждения помещений», а в 1990 году докторскую диссертацию на тему «Повышение эффективности использования низкопотенциальных солнечных нагревателей в системах теплоснабжения» в Государственном научно-исследовательском энергетическом институте (ЭНИИ, г. Москва) по специальности «Преобразование возобновляемых видов энергии и установки на их основе». В 1994 году присвоено ученое звание профессора по этой же специальности.

С 1963 по 1966 годы работал лаборантом станции визуального наблюдения искусственных спутников Земли; в 1966 - 1967 годы проходил научную стажировку при Физико-техническом институте АН Туркменистана под руководством академика АН Туркменистана В.А. Баума. В 1967 году поступил в аспирантуру при Физико-техническом институте (ФТИ) АН Узбекистана, которую успешно окончил в 1970 году по специальности «Возобновляемые виды энергии». Прошел путь от старшего инженера до заведующего лабораторией. Он является основателем лаборатории «Низкопотенциальные солнечные тепловые установки», созданной в 1975 году в ФТИ АН Республики Узбекистан. С 2015 по 2021 гг. работал главным научным сотрудником в ФТИ АН РУз и Международном институте солнечной энергии.

Научная деятельность профессора Р.Р. Авезова тесно связана с подготовкой высококвалифицированных специалистов в области теплового

ПОМНИМ И СКОРБИМ

преобразования и использования солнечной энергии. Он являлся лидером первой научно-инженерной школы гелиотехники Узбекистана, получившей широкое признание в республике и странах СНГ. Основная научная деятельность школы связана с разработкой и внедрением солнечных тепловых установок, предназначенных для теплоснабжения жилых, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных объектов. Под его руководством разработано и организовано серийное производство трех поколений солнечных водонагревательных коллекторов (1978-1990 гг.), общая площадь которых составляет более 40 тыс. кв. м.

Его работу продолжают его ученики в Лаборатории "Солнечных тепловых и энергетических установок" ФТИ АН РУз, а также во многих областях страны – в Кашкадарьинской, Ферганской, Бухарской, Сирдарьинской областях, где ими созданы научные лаборатории в данной сфере. Под его руководством защищены более 25 докторских и кандидатских работ по специальностям «Теоретические основы теплотехники», «Промышленная теплоэнергетика» и «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии». Один из его учеников С. Батмунх – известный специалист в области теплоэнергетики, ныне является академиком Академии наук Монгольской Народной Республики.

Профессор Р.Р. Авезов являлся сооснователем научных школ в зарубежных странах, таких как Монголия, Афганистан, Сирия и др., тем самым способствовал расширению числа исследователей в области использования возобновляемых источников энергии.

В период с 1993 по 2021 годы Авезов Р.Р. активно участвовал в деятельности Специализированных советов при ФТИ АН РУз и ТашГТУ в качестве ученого секретаря, заместителя председателя, члена Совета, а также был членом Экспертного совета ВАК РУз по энергетике.

Большое внимание Р.Р.Авезов уделял подготовке молодых высококвалифицированных кадров для теплоэнергетики. В 2002 году был приглашен на работу в ТашГТУ на кафедру «Термодинамика и теплотехника» на должность профессора. Раббанакул Рахмонович был талантливым педагогом и блестящим лектором. Оптимизм и сила духа выделяли его среди многих славных педагогов ТашГТУ. Опускать руки, замыкаться в горестных раздумьях было не в его натуре. В каждом проводимом им занятии – своя уникальность: лекции Авезова Р.Р. были всегда интересны.

Высочайший профессионализм, широта кругозора, полная самоотдача в работе, требовательность и доброжелательность – эти и другие профессиональные и человеческие качества привлекали к Раббанакулу Рахмоновичу учеников, соратников и друзей из разных городов республики и других стран.

Р.Р. Авезов был одним из основных лиц, обеспечивших большой авторитет и международное признание единственному в странах СНГ спе-

циализированному международному журналу «Гелиотехника», который также издаётся на английском языке издательством Allerton Press в США под названием «Applied Solar Energy», являлся членом его редколлегии с 1975 по 2021 годы, в течение 2000-2013 годов являлся ответственным секретарем этого журнала. Р.Р. Авезов также являлся членом редколлегий и рецензентом в ряде зарубежных научных журналов, таких как «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), Journal of Building Engineering, Applied Thermal Engineering и др.

В 2003 году многолетняя научная деятельность профессора Р.Р.Авезова была признана Правительством Республики Узбекистан и он был награжден орденом «Мехнат шухрати» за значительный вклад в развитие науки в Узбекистане, в том числе, в направлениях преобразования солнечной энергии в тепловую и эффективности ее использования в различных секторах экономики страны.

Одним из важных проектов в его деятельности являлась разработка дизайна Международного института солнечной энергии, где им также основана научная школа, и по сей день проводятся научно-исследовательские работы в области использования солнечной энергии на международном уровне.

Р.Р. Авезов являлся выдающимся ученым, автором более 300 научных работ в сфере теплового преобразования и использования солнечной энергии: среди них 7 монографий, 10 учебных пособий, 16 патентов и авторских свидетельств, более 120 научных статей.

Он был образцовым семьянином и любимым отцом четверых детей. Одна из его дочерей продолжает его путь в качестве доктора технических наук, успешно ведет научную деятельность в области использования возобновляемых источников энергии.

Человеческие качества, свойственные Раббанакулу Рахмоновичу, такие как активность, жизнерадостность, предприимчивость, а также целеустремлённость, являются для нас примером. Он останется в наших сердцах надёжным товарищем и мудрым советчиком, наставником, всегда готовым прийти на помощь в любой ситуации. Родные и близкие, друзья и знакомые, ученики и представители научного сообщества страны скорбят о невозможной утрате, а светлая память об этом замечательном человеке навсегда сохранится в сердцах тех, кто его знал, любил и уважал.

Группа коллег и учеников



**Доктор технических наук, профессор
Абдужаббор Абдурахманов
(1946-2021)**

Вся трудовая деятельность Абдурахманова Абдужаббора связана с наукой и Академией наук Республики Узбекистан. А. Абдурахманов получил квалификацию инженера-оптика по специальности "Физическая оптика и спектроскопия" в Ленинградской высшей школе точной механики и оптики в 1970 году и был направлен на работу в Академию наук Узбекистана. В 1970 - 1973 годах он работал младшим научным сотрудником в отделе «Гелиотехника» Физико-технического института и принимал активное участие в создании ряда новых установок и приборов по использованию солнечной энергии.

В 1973 году А.Абдурахманов поступил в аспирантуру Авиационного института в Москве, а в 1977 году успешно защитил звание кандидата технических наук по специальной теме "Развитие солнечной энергетики". С 1977 года он продолжил свою карьеру в качестве ведущего конструктора в Центральном управлении проектирования и технологического развития Академии наук РУз. С 1981 года он работал начальником созданной лаборатории "Технологии контроля и химии" и выполнял хозяйственные контракты по созданию оборудования, концентрирующего солнечную энергию. Он активно участвовал в успешной реализации научно-технического соглашения с Республикой Индия по созданию водоподъемного устройства, использующего солнечную энергию.

В 1986-1991 годах работал заместителем директора по науке в специальном конструкторско-технологическом бюро научно-производственного объединения "Физика-Солнце" при АН РУз. С сентября 1991 года был направлен в докторантуру Московского авиационного института, а 14 декабря 1992 года защитил докторскую диссертацию на тему "Зеркально-концентрирующие системы для солнечных энергосиловых и технологических установок и их эффективность при использовании приемников селективного лучепоглощения".

С 1 января 1993 года был назначен заведующим лабораторией "Большие солнечные установки" Института материаловедения НПО "Физика-Солнце" АН РУз. С 11 февраля 1994 года он избран директором института и проработал на этой должности до сентября 2012 года.

Основными научными направлениями А.Абдурахманова являются оптика, основы усвоения тепловой энергии и использования солнечной энергии, повышение эффективности солнечных установок, зеркальный концентрирующие системы, водородная энергетика. А.Абдурахманов создал научные школы по применению спектрально-селективных покрытий и по созданию физико-математических моделей распределения в фокальной плоскости концентрированных солнечных лучей с целью повышения эффективности высокотемпературных солнечных устройств большой мощности. Кроме того, он занимался созданием стендов, позволяющих контролировать качество зеркал и провел исследования автономных солнечных энергетических устройств мощностью 3-20 кВт, способных получать водород, генерировать электрическую и тепловую энергии.

За время научной деятельности им опубликовано более 170 научных работ, получено множество авторских свидетельств и патентов.

В период своей работы А.Абдурахманов внес большой вклад в развитие Института материаловедения, представлял институт за рубежом и координировал научно-техническое сотрудничество с десятками стран, такими как Египет, Индия, США, Франция, Германия, Россия и др.; в Египте и Индии под его руководством были установлены малые солнечные печи. Показательно, что оптико-энергетические параметры Большой Солнечной Печи мощностью 1 МВт, сооруженной в Институте материаловедения, в мировой практике являются высокоточными и уникальными.

А. Абдурахманов являлся опытным менеджером, который был внимателен к своей работе, требователен и верен подчиненным, имел хорошую репутацию среди коллег, был ответственен за результаты своей работы.

Под его непосредственным руководством были созданы уникальные технологические устройства, обладающие способностью плавить и синтезировать высокотемпературные материалы в фокальной зоне Большой Солнечной Печи. Керамические материалы, полученные с их помощью, широко используются на промышленных предприятиях республики.

Профессор А.Абдурахманов был членом нескольких специализированных научных советов в нашей стране и Кыргызской Республике. Являлся основателем летней школы по возобновляемым источникам энергии в Институте материаловедения, которая была создана для студентов различных вузов республики и соседних стран. Большинство выпускников этой школы работает в научно-

ПОМНИМ И СКОРБИМ

исследовательских институтах и вузах, получили научные степени кандидатов и докторов наук.

За время научно-организационной деятельности А.Абдурахмановым было подготовлено 8 кандидатов наук, 2 доктора наук и в настоящее время готовы работы 2 докторов наук.

19 июня 2021 года года д.т.н., профессор Абдужаббар Абдурахманов покинул этот мир в возрасте 75 лет. Яркая память о замечательном ученом, д.т.н., проф. А.Абдурахманове будет вечно жить в сердцах его коллег и учеников.

Группа коллег и учеников



**Доктор технических наук, профессор
Алимходжаев Камалиддин Тиллаходжаевич
(1945-2021)**

Алимходжаев Камалиддин Тиллаходжаевич, доктор технических наук, профессор, родился 15 октября 1945 год в городе Ташкенте, в семье рабочего.

К.Т. Алимходжаев в 1961 году закончил школу с отличными оценками. В школе ему нравились такие предметы, как математика, физика и литература.

В 1961-1962 годах работал на фабрике «Юлдуз» механиком, а в 1963 году поступил в Ташкентский политехнический институт (ТашПИ) на энергетический факультет по специальности «Электромеханика». Во время обучения и прохождения практик у молодого человека сформировался интерес к науке.

После окончания института в 1968 году Алимходжаев К.Т. начал трудовую деятельность на кафедре «Электрические машины» ТашПИ. Он занимал должности от ассистента до профессора.

В 1982 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование частотно-регулируемых электромагнитных вибраторов» на Специализированном совете Ереванского политехнического института по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты», и получил степень кандидата технических наук.

В 2000-2006 годы работал заместителем начальника Департамента Государственной акционерной компании «Узбекэнерго». Камалиддин Тиллаходжаевич 46 лет работал в системе высшего специального образования, всегда использовал современные педагогические технологии на лекциях, практических и лабораторных занятиях. Например, на лекциях он творчески использовал ментальную атаку с методами тестирования. Лабораторные занятия велись им на основе современных информационных технологий, в основном использовался кластерный метод. Используя вышеуказанные современные технологии в ходе занятий, он добивался того, чтобы учащиеся не только понимали, но и знали и любили предмет.

В 2004 году защитил докторскую диссертацию на тему «Частотно-регулируемые вибродвигатели переменного тока» на Специализирован-

ПОМНИМ И СКОРБИМ

ном совете Ташкентского государственного технического университета по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты» и получил ученую степень доктора технических наук.

Камалиддин Тиллаходжаевич активно участвовал в обновлении учебников по дисциплинам кафедры и обеспечении новых предметов специальности учебными пособиями. Он принимал активное участие в создании Государственных образовательных стандартов, квалификационных требований, типовых и рабочих программ, а также конспектов лекций.

Решением Высшей аттестационной комиссии Республики Узбекистан в 2015 году ему присвоено звание профессора по специальности «Электротехника. Электроэнергетические станции, системы. Электротехнические комплексы и установки».

Профессор опубликовал более 200 научных работ, в том числе 60 научных статей, участвовал в более чем 100 научных конференциях, получил несколько патентов, опубликовал множество учебников и монографий, был руководителем 10 фундаментальных научно-практических работ. Он с большой самоотдачей выполнял свои педагогические обязанности и scrupulously проводил научные исследования.

Алимхаджаев К.Т. принимал активное участие в качестве основного исполнителя более чем в 50 хозяйственных работах по электрическим машинам, разработке научно обоснованных норм расхода топлива, электроэнергии, а также в проведении энергетических обследований на Алмалыкском горно-металлургическом комбинате и других промышленных предприятиях.

Камалиддин Тиллаходжаевич не только готовил квалифицированных специалистов в области энергетики для промышленных предприятий, но и способствовал их воспитанию как патриотов, морально сильных, высокодуховных кадров. Он выступал на телевидении и радио, а также писал статьи в газетах и журналах, социальных сетях Интернета, разъясняя суть проводимых в нашей стране комплексных реформ. Под его руководством подготовлено несколько кандидатов наук и множество высококвалифицированных специалистов – бакалавров и магистров.

Являлся членом Ученого совета № DSc.03 / 10.12.2019.Т.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. Участвовал в качестве эксперта в экспертизе фундаментальных, прикладных и инновационных научных проектов Экспертного совета по «Техническим наукам» Министерства инновационного развития в 2017-2021 гг.

Мы всегда будем помнить Алимхаджаева Камалиддина Тиллаходжаевича – большого ученого и педагога, много сделавшего для развития энергетики Республики Узбекистан.

Группа коллег и учеников

ИСПОЛЬЗУЙТЕ БЕЗУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



Проект АЭС в Узбекистане мощностью 2×1200 мВт
(начало строительства - 2022 г)



Индекс 1070

ЦВЕТOK «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ

