



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

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 3

2022

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

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

Ш.М.Мирзиёев

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

Sh.Mirziyoyev



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

2022 й.

№3

ТОШКЕНТ - 2022

ТАҲРИР КЕНГАШИ АЪЗОЛАРИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ АЪЗОЛАРИ:

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

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

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

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

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

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

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

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

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

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

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

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

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

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

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

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

Техник муҳаррир: доц. Ниёзов Н.Н.

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

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

МУНДАРИЖА

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

К.Р. Аллаев. Энергетика ва экология.	14
А.А. Михалевич, А.Ж. Гребеньков. Замонавий энергия сиёсатида глобал ва худудий жиҳатлар.	28
Б.К. Алиёров, М.Б. Алиёрова, А.А. Кибарин. Қозоғистон энергетикасининг жорий муаммолари.	54
М.В.Кремков, М.В.Воронов. Энергетика бошқариладиган ташкилий ишлаб чиқариш тизими сифатида: трансформация ва хавфлар.	68
Т.Г. Зорина, О.И. Юркевич. Беларусия ЯИМнинг электр қуввати: тармоқ ва минтақа кесимида таҳлили, Эвроосиё иқтисодий иттифоқи мамлакатлари билан қиёсий таҳлил. . .	81
О.В. Радионова, Р.А. Ситдиқов, Т.Х. Нуралиев, О.А. Орзимбоев. 0,4 - 10 кВ кучланишли электр тармоқларида энергия тадқиқотлари ва аудит ўтказишнинг киберфизик усуллари.	92

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

Н.Р. Аvezова, А.Ю. Усманов, М.А. Қуралов. Чорвачилик объектлари иссиқлик таминоти тизимларини режалаштириш ва микроиклимни таъминлаш.	101
Р.А. Мамедов, Г.Н. Узаков, А.Б. Сафаров, И.А. Хатамов. Паст босимли сув оқимларига мослаштирилган микрогидроэлектростантсияни лойиҳалаш ва математик моделлаштириш.	110

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

В.В. Елистратов, С.Е. Красножен. Биноларнинг энергия самарадорлигини ошириш учун қурилиш муҳандислигида қуёш меъморчилиги тамойилларидан фойдаланиш.	131
Р.А.Бурганов, Э.Р. Алтынбаева, Л.Р. Уразбахтина, Л.В.Маймакова, Й.А. Долонина. Уй хўжалигида энергия тежамкорлиги: хулқ-атвор моделлари ва амалга ошириш муаммолари.	143
Ш.М.Таҳиров. Ақлли ва ишончли инфратузилма таркибий сақлаш ва қуришда – энергия ресурсларини тежашнинг асосий стратегияси.	152

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

Т.К. Койшиев, З.Б. Бекжан. "Shadow Analyzer" дастури ёрдамида ПВ-қуёш стантсиясининг компютер архитектурасини яратиш ва энергетик кўрсаткичларини баҳолаш.	160
М.А. Сарыбай, Ф.А. Сатыбалдиева, А.С. Сариев. LoraWAN текшириш алгоритмининг қайта тикланадиган энергия тизимларида қўллаш	168
Н.А. Матчанов, Х.Х. Қулматов, Ш.А. Муминов. Фотоэлектрик станциянинг чиқиш параметрларини микроконтроллер асосида ўлчаш, қайта ишлаш ва modbus RS-485 регистрга маълумотларни узатиш.	177
Ш.И. Клычев, И.Г. Кенжаев, М.Т. Зоҳидов, Ш.А. Маразаков, Ш.С. Ташева. Қуёший иситишда биноларнинг иссиқлик ҳимояси.	185
Ф.Ш. Қасимов, Ш.К. Ниязов, М.Т. Улуғмуродов, Б.Т. Шодиев. Яси қуёш сув иситиш коллекторларининг ҳажмий қабул қилгичида тўпланган қуёш энергияси фойдали иссиқлик миқдорини тажрибавий тадқиқотлари натижаларини қайта ишлаш усули.	193
Н.А. Матчанов, А.А. Мирзаев, Ғ.Х. Хасанов, Ф.Ф. Содиков, А. Р. Худайназаров. Ўрнатилган қуввати 20 кВт бўлган фотоэлектрик станция маҳаллий электр тармоқ билан параллел ишлаганда уланиш нуктасидаги кучланиш ва ток кучи гармоникаларининг тадқиқи.	198

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

А.У. Воҳидов, З.Дж. Арзиев, М.Б. Шерматова. Сузиш ҳавзаларини иситиш учун табиий газни алмаштириш масаласига.	207
--	-----

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

Н.Н. Далмурадова, М.Б. Шерматова, Насиба Далмурадова, Д. Хошимов, И. Раҳматшоев, С.Насриддинов. Пассив уйлар қурилишининг экологик жиҳатлари. . . .	214
--	-----

**Мазкур сон 2022 йил 23-24 сентябрь
кунлари Ўзбекистон Республикаси
Энергетика вазирлиги ҳузуридаги
Қайта тикланувчи энергия манбалари
миллий илмий-тадқиқот институтида
ўтказилган**

**“ЖАҲОНДА ВА ЎЗБЕКИСТОНДА
ПАСТ УГЛЕРОДЛИ
РИВОЖЛАНИШНИНГ ЯНГИ
УФҚЛАРИ”**

**мавзусидаги халқаро илмий-амалий
анжуманнинг танлаб олинган
мақолаларига бағишланади**

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

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

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ

Журнал основан
в 2002 году

Издаётся 4 раза
в год

2022 г.

№ 3

ТАШКЕНТ - 2022

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

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

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

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

Технический редактор: доц. Ниёзов Н.Н.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К.Р. Аллаев. Энергетика и экология.	14
А.А. Михалевич, А.Ж. Гребеньков. Современная энергетическая политика: глобальные и региональные аспекты.	28
Б.К. Алияров, М.Б. Алиярова, А.А. Кибарин. Текущие проблемы энергетики Казахстана.	54
М.В.Кремков, М.В.Воронов. Энергетика, как управляемая организационная производственная система: трансформация и риски.	68
Т.Г. Зорина, О.И. Юркевич. Электроемкость ВВП Республики Беларусь: анализ в отраслевом и региональном разрезе, сравнительный анализ со странами ЕАЭС.	81
О.В. Радионова, Р.А. Ситдииков, Т.Х. Нуралиев, О.А. Орзимбоев. О киберфизических методах проведения энергетических обследований и аудитов электрических сетей напряжением 0,4 – 10 кВ.	92

ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Н.Р. Авезова, А.Ю. Усманов, М.А. Куралов. Планирование системы теплоснабжения объектов животноводства и обеспечению необходимого микроклимата в них.	101
Р.А. Мамедов, Г.Н. Узаков, А.Б. Сафаров, И.А. Хатамов. Разработка конструкции и математическое моделирование микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам.	110

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В.В. Елистратов, С.Е. Красножен. Использование принципов солнечной архитектуры в гражданском строительстве для повышения энергоэффективности зданий.	131
Р.А.Бурганов, Э.Р. Алтынбаева, Л.Р. Уразбахтина, Л.В.Маймакова, Й.А. Долонина. Энергосбережение в домашнем хозяйстве: поведенческие модели и проблемы реализации.	143
Ш.М.Тахиров. Умная и надежная инфраструктура как основная стратегия энерго- и ресурсосбережения в сохранении конструкций и строительства.	152

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Т.К. Койшиев, З.Б. Бекжан. Создание компьютерной архитектуры и оценка энергетических показателей PV - солнечной станции в программной среде «Shadow Analyzer».	160
М.А. Сарыбай, Ф.А. Сатыбалдиева, А.С. Сарыбаев. Применение алгоритма проверки Logawan в системах возобновляемой энергетики.	168
Н.А. Матчанов, Х.Х. Кулматов, Ш.А. Муминов. Измерение, обработка выходных параметров фотоэлектрической станции на основе микроконтроллера и передача данных на регистр Modbus RS-485.	177
Ш.И. Клычев, И.Г. Кенжаев, М.Т. Зохидов, Ш.А. Маразаков, Ш.С. Ташева. Теплозащита зданий при солнечном отоплении.	185
Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов, М.Т. Улуғмуродов, Б.Т. Шодиев. Методика обработки результатов экспериментальных исследований дневного количества накопленного в емком приемнике полезного тепла плоских солнечных водонагревательных коллекторов	193
Н.А. Матчанов, А.А. Мирзаев, Ғ.Х. Хасанов, Ф.Ф. Содиков, А. Р. Худайназаров. Исследование гармоник напряжения и силы тока в точке подключения фотоэлектрической станции со встроенной мощностью 20 кВт, работающей параллельно с локальной электрической сетью.	198

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

А.У. Вохидов, З.Дж. Арзиев, М.Б. Шерматова. К вопросу замещения природного газа для обогрева плавательных бассейнов.	207
--	-----

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Н.Н. Далмурадова, М.Б. Шерматова, Насиба Далмурадова, Д. Хошимов, И. Рахматшоев, С.Насриддинов. Экологические аспекты строительства пассивных домов.	214
--	-----

**НАСТОЯЩИЙ НОМЕР ПОСВЯЩАЕТСЯ
ИЗБРАННЫМ СТАТЬЯМ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ
НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ
В МИРЕ И УЗБЕКИСТАНЕ»,
ПРОХОДИВШЕЙ 23-24 СЕНТЯБРЯ В
НАЦИОНАЛЬНОМ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ ПРИ МИНИСТЕРСТВЕ
ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

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

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

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

**ASSOCIATION OF ALTERNATIVE FUEL AND ENERGY
ENTERPRISES**

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

PROBLEMS OF ENERGY AND SOURCES SAVING

The magazine founded
in 2002

Printed 4 times
a year

2022 y. _____ №2

TASHKENT - 2022

EDITORIAL COUNCIL

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

EDITORIAL TEAM

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL COLLEGE:

ELECTRIC POWER

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

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

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

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

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

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

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

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

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

ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS

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

Technical Editor: docent. Niyozov N.N.

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

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

CONTENTS

ELECTRIC POWER	
K.R. Allaev. Energy and ecology.	14
A.A. Mikhalevich, A.Zh. Grebenkov. Nowadays energy policy: global and regional aspects.	28
B.K. Aliyarov, M.B. Aliyarova, A.A. Kibarin. The current energy problems in Kazakhstan.	54
M.V. Kremkov, M.V. Voronov. Energy as a managed organizational production system: transformation and risks.	68
T.G. Zoryna, O.I. Yurkevich. Electricity Intensity of GDP of the Republic of Belarus: An Analysis in a Sectoral and Regional Context, Including Comparative Analysis with EAEU Countries.	81
O.V. Radionova, R.A. Sitdikov, T.Kh. Nuraliev, O.A. Orzimboev. About cyber-physical methods for conducting energy surveys and audits of electrical networks with a voltage of 0.4 - 10 kV.	92
HEAT AND NUCLEAR ENERGY	
N.R. Avezova, A.Yu. Usmanov, M.A. Kuralov. Planning the heat supply system for livestock facilities and ensuring the necessary microclimate in them.	101
R.A. Mamedov, G.N. Uzakov, A.B. Safarov, I.A. Khatamov. Design development and mathematical modeling of a micro hydro power plant adapted to low-pressure watercourses.	110
ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING	
V.V. Elistratov, S.E. Krasnozhen. Application of the principles of solar architecture in civil engineering for improving the energy efficiency of buildings.	131
R.A. Burganov, E.R. Altynbaeva, L.R. Urzabakhtin, L.V. Maimakova, Y.A. Dolonin. Energy saving in the household: behavioral models and implementation problems.	143
Sh.M.Takhirov. Smart and resilient infrastructure as major strategy for energy and resource saving in structural preservation and construction.	152
ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES	
T.K. Koishiyev, Z.B. Bekzhan. Creation of a computer architecture and evaluation of energy indicators of a PV-solar station in the «Shadow Analyzer» software environment.	160
M.A. Sarybay, F.A. Satybaldieva, A.S. Saribaev. Application of the lorawan verification algorithm in renewable energy systems.	168
N.A. Matchanov, Kh.Kh. Kulmatov, Sh.A. Muminov. Measurement, processing of output parameters of a photovoltaic station based on a microcontroller and data transmission to a modbus RS-485 register.	177
Sh.I. Klychev, I.G. Kenzhaev, M.T. Zokhidov, Sh.A. Marazakov, Sh.S. Tasheva. Thermal protection of buildings with solar heating.	185
F.Sh. Kasimov, Sh.K. Niyazov, M.T. Ulugmurodov, B.T. Chodiev. Method of processing of the experimental studies result of the day amount of useful heat accumulated in the capacitive receiver of flat-plate solar water-heating collectors.	193
N.A. Matchanov, A.A. Mirzaev, G.H. Khasanov, F.F.Sodikov, A. R. Khudainazarov. Investigation of voltage and current harmonics at the connection point a photovoltaic station with a built-in power of 20 kW operating in parallel with the local electrical network.	198
OIL AND GAS. FUEL RESOURCES	
A.U. Vohidov, Z.J. Arziev, M.B. Shermatova. On the issue of replacing natural gas for heating swimming pools.	207
ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS	
N.N. Dalmuradova, M.B. Shermatova, Nasiba Dalmuradova, D. Khoshimov, I. Rakhmatshoev, S. Nasriddinov. Environmental aspects of the construction of passive houses.	214

**THIS ISSUE IS DEDICATED TO
SELECTED ARTICLES OF THE
INTERNATIONAL SCIENTIFIC-
PRACTICAL CONFERENCE “NEW
HORIZONS OF LOW-CARBON
DEVELOPMENT
IN THE WORLD AND UZBEKISTAN”,
HELD ON SEPTEMBER 23-24 AT THE
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES UNDER
THE MINISTRY OF ENERGY OF THE
REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

УДК 620.9

ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ

К.Р. Аллаев

Мақолада экология ва энергетика боғлиқлик масалалари кўрилган. XXI асрда энергетиканинг ривожланиши ёқилги қазилмалари ҳисобига ошиши кўрсатилган ва бу жараён албатта экологик муаммоларини оғирлашишига олиб келади ва ўз ечимини топишини тақозо қилади. Биринчи навбатда, бу аҳвол ёқилги қазилмаларини иссиқлик станцияларида ёқиш ва шу сабабли ташиқи муҳитни ифлослаш муаммосини тугдиради. Шу билан бирга, атмосферада бўлаётган жараёнларнинг кенглиги, таҳлили, ташиқи муҳит температурасинг ўлчашидан иборатлиги етарли эмаслигини кўрсатади. Аниқки, атмосферада бўлаётган мураккаб жараёнлар, мукамал ўрганилмаган, ва ташиқи муҳит температурасининг ошиши чуқур изланишлар олиб борилишини тақозо қилади ва шу асосда CO_2 нинг атмосферага таъсири бўйича аниқ фикр ва таклифлар берилишини талаб қилади. Ҳар қандай ёқилгининг асосий кўрсаткичлари – бу унинг таркибида минимал миқдордаги углерод (C) ва водород (H) ва уларнинг ўзаро таъсиридан иборат. Ёқилги таркибида углероднинг (C) кўплиги, CO_2 чиқиндиларини оширади ва ўз навбатида бу газ парник газларининг асосий бўлаги ҳисобланиб, дунё иқлимга салбий таъсир кўрсатади. Париж Келишилганлиги – бу ҳалқаро Келишилганлик бўлиб, иқлим ўзгаришларига боғишланган, БМТ томонидан тасдиқланган бўлиб, 2020 йилдан бошлаб атмосферада CO_2 нинг миқдорини камайтириши масалаларини бошиқаришига боғишланган. Париж Келишилганлигининг асосий вазифаси – дунё миқёсида ташиқи муҳит температурасини ўртача $2^\circ C$ дан оширмалик, ва иложи бўлса бу кўрсаткични $1,5^\circ C$ гача сақлашдан иборат.

В статье приведены данные по экологии и ее связи с энергетикой. Показано, что основная часть растущих энергетических потребностей в XXI веке будет обеспечиваться за счет ископаемых топлив, что не может не вызвать обострения глобальных экологических проблем. Прежде всего это из-за все большего сжигания ископаемых топлив и усиления загрязнения окружающей среды вредными веществами. Отмечается, что временной масштаб атмосферных процессов таков, что не позволяет делать верные выводы из приведенных данных температурных измерений. Однако очевидно, что сложные естественные процессы недостаточно хорошо изучены, а проблема глобального потепления требует более глубокого анализа, для того чтобы сделать заключение о степени влияния на него выбросов CO_2 . Показано, что характерным показателем любого топлива в экологическом аспекте - это минимальное содержание и соотношение содержащихся в нем углерода C и водорода H. Повышенное содержание C приводит к более высоким выбросам CO_2 на каждую единицу тепловой энергии. CO_2 является основным компонентом парниковых газов, способных привести к глобальному изменению климата. Указывается, что Парижское соглашение — международное Соглашение, об изменении климата,

утвержденное ООН и регулирующие меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Целью Соглашения является удержание роста глобальной средней температуры намного ниже 2°C и приложить усилия для ограничения роста температуры величиной 1,5°C.

The article presents data on ecology and its connection with energy. It is shown that the bulk of the growing energy needs in the 21st century will be provided by fossil fuels, which cannot but aggravate global environmental problems. First of all, this is due to the increasing burning of fossil fuels and increased environmental pollution with harmful substances. It is noted that the time scale of atmospheric processes is such that it does not allow drawing correct conclusions. From the given data of temperature measurements. However, it is obvious that complex natural processes are not well understood, and the problem of global warming requires a deeper analysis in order to draw a conclusion about the degree of influence of CO₂ emissions on it. It is indicated that a characteristic indicator of any fuel in the environmental aspect is the minimum content and ratio of the combustibles contained in it: carbon C and hydrogen H. An increased content of C leads to higher CO₂ emissions per unit of thermal energy. CO₂ is the main component of greenhouse gases that can lead to global climate change. It is indicated that the Paris Agreement is an international agreement on climate change, approved by the UN and regulating measures to reduce carbon dioxide in the atmosphere from 2020. The goal of the Agreement is to keep global average temperature rise well below 2°C and to make efforts to limit temperature rise to 1.5°C.

Экология сформировалась в середине XIX века как биологическая наука о взаимоотношениях растительных и животных организмов и образуемых ими сообществ между собой и с окружающей средой [1].

В 1869 г. термин «**экология**» ввел Э.Геккель. Однако, более чем за 130 лет своего существования экология претерпела кардинальные изменения. Сейчас экология - это междисциплинарная область знаний специалистов всех направлений. Объектом изучения современной экологии являются многоуровневые системы в природе, обществе и их взаимодействие. Современная экология, сохраняя свои корни в биологических науках, уже не может быть отнесена только к ним. Она впитала в себя концепции и методы физики, химии, метеорологии, математики и других естественных наук, т.е. экология — это фундаментальная наука.

Экосистема представляет собой все совместно функционирующие организмы (биотическое сообщество) на данном участке и взаимодействующие с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями окружающего мира. Таким образом, функционирующие совместно сообщества и физическая среда Земли образуют экосистему. Над этой проблемой работали такие выдающиеся ученые, как В.И. Вернадский, А.Тенсли, В.Н. Сукачев и многие другие. Понятие «экосистема» ввел в 1935 г. английский фитоценолог А. Тенсли [1].

Согласно выводам МИРЭС и других международных энергетических организаций основная часть растущих энергетических потребностей в XXI в. будет обеспечиваться за счет ископаемых топлив, что не может не вызвать обострения глобальных экологических проблем. Прежде всего это из-за все большего сжига-

ния ископаемых топлив и усиления загрязнения окружающей среды вредными веществами [1-4].

Нужно отметить, что несмотря на различия, основным продуктом сгорания органических топлив (дерево, уголь, нефть, природный газ) является углекислый газ CO_2 , который создает парниковый эффект.

Установлено, что в последние 40 лет до 80 % прироста концентрации CO_2 в атмосфере и тропосферного сульфатного аэрозоля происходит из-за сжигания органического топлива.

Во второй половине XIX столетия глобальное потепление было существенно более интенсивным, чем во второй половине XX века, хотя основной прирост в потреблении органического топлива и выбросах CO_2 наблюдался именно во второй половине XX века. Увеличение средней температуры окружающей среды в XX веке составило $0,2^\circ\text{C}$ по сравнению с $(0,4-0,5)^\circ\text{C}$ в XIX столетии. Возможно, что временной масштаб атмосферных процессов таков, что не позволяет делать верные выводы из приведенных данных температурных измерений. Однако очевидно, что сложные естественные процессы недостаточно хорошо изучены, а проблема глобального потепления требует более глубокого анализа, для того чтобы сделать заключение о степени влияния на него выбросов CO_2 .

Для справедливости необходимо отметить, что среди ученых нет единого мнения об основных причинах и механизмах изменения климата, в том числе повышения температуры поверхности планеты. Является ли это результатом долговременных геологических процессов или же результатом человеческой деятельности по использованию органических топлив в качестве энергоносителя? Существует прямо противоположные мнения по этому вопросу [1,6]. Но факт остается фактом – повышение температуры приземной поверхности Земли наблюдается, что подтверждают многочисленные измерения последних 30-50 лет. Поэтому эта проблема должна быть исследована комплексно, углубленно, на основе современных взглядов наук о Земле, научно-технических, компьютерных и других технологий.

По данным [5], измерения, проводившиеся в 243 точках по всему миру в течение более чем 30 лет, показали, что уровень океанов поднялся в среднем на 15 см. По оценкам специалистов, океаны наступают со скоростью 1 см/год. В результате к концу XXI века это может привести к повышению уровня воды на (1,8-2,4) м. Если учесть, что население планеты постоянно возрастает и удваивается каждые 35 лет, станет ясно, что повышение уровня океанов приведет к резкому сокращению обитаемых и сельскохозяйственных земель, со всеми вытекающими катастрофическими последствиями.

Расчеты, выполненные на основании антропоцентрического подхода, показывают, что при ожидаемых в XXI веке темпах роста потребления органических топлив, температура воздуха к 2100 году может повыситься на $6,3^\circ\text{C}$ по отношению к 1850 г. Это более чем в 3 раза превосходит критические (приводящие к катастрофическим явлениям) повышения температуры.

В последние годы специалисты говорят не только о **глобальном потеплении**, но также о **глобальном затемнении**. По данным института космических исследований США (NASA), за последние годы объем солнечного света, достигающего

Землю снижает. Причина: частицы грязи-копоти, химические соединения, скопившиеся в атмосфере, преломляют лучи Солнца и не позволяют свету в должном объеме освещать поверхность нашей планеты. По мнению климатологов, развитие процесса затемнения сильно повлияет на нормальный рост всех видов растений, а также значительно снизит эффективность солнечной энергетики [1].

Специалистами подсчитаны ущербы, наносимые обществу и природе от загрязнения в результате использования органических топлив. Стоимость негативных эффектов обычно не включается в конечную рыночную стоимость топлива. Однако такие исследования проводились. Они показывают, что в среднем, обобщенный ущерб от производства 1 ГДж энергии с использованием ископаемых топлив составляет 10 долл. США. Самым грязным по этому показателю топливом признан уголь - 14,5 \$. Далее следует нефть - 12,5 \$ и, наконец, газ - 5,6 \$ 40% суммарного ущерба дает использование угля, на природный газ приходится 18% суммарного ущерба.

Проблемой загрязнения окружающей среды в мире занимаются давно.

На рис. 1. приведены этапы обсуждения и принятия международных Соглашений в мире, связанных с глобальными выбросами CO₂ в результате сжигания углеводородов. Здесь необходимо остановиться о Парижском Соглашении.

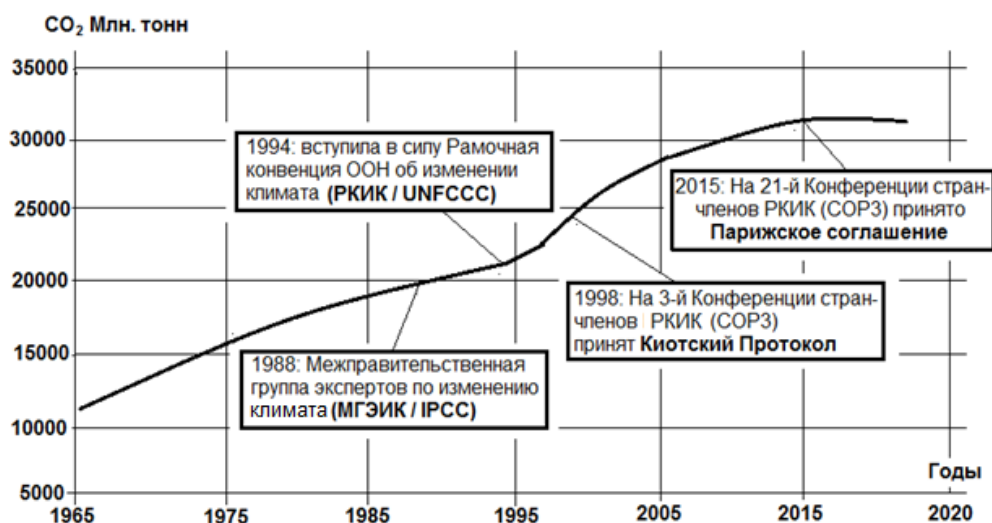


Рис.1. Глобальные выбросы CO₂ в результате сжигания углеводородов [7].

Парижское соглашение — соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Соглашение было подготовлено взамен Киотского протокола в ходе Конференции по климату в Париже и принято консенсусом 12 декабря 2015 года, а подписано 22 апреля 2016 года. 175 стран подписали Парижское соглашение по климату [8]. 1 июня 2017 года США официально объявили о выходе США из Парижского соглашения по климату [9].

Новая администрация США в начале 2021 года объявила о поддержке Парижского Соглашения.

Целью Соглашения является активизировать осуществление Рамочной конвенции ООН по изменению климата, в частности, удержать рост глобальной средней температуры намного ниже 2°C и приложить усилия для ограничения роста температуры величиной 1,5°C [8].

Страны-участники определяют свои вклады в достижение декларированной общей цели в индивидуальном порядке, пересматривают их раз в пять лет. Не предусматривается никакого механизма принуждения, как в отношении декларирования национальных целей, так и в обеспечении обязательности их достижения.

Согласно современным научным представлениям [8], заданный предел потепления в сочетании с вероятностью его непревышения определяет величину доступного эмиссионного бюджета, то есть будущих совокупных выбросов CO₂. Моделирование климата показывает, что для XXI века хотя бы 50% вероятность 2°C находится на грани достижимого.

Проблема снижения выбросов – это проблема энергоэффективности и энергосбережения, а также разработки и применения новых технологий по нейтрализации выбросов [1,10].

Наиболее проблематичной является оценка вклада энергетики во «внешнюю стоимость» глобального потепления, т.е. денежного выражения экологического ущерба, связанного с химическим и физическим загрязнением окружающей среды. В то же время, очевидно, что при этом стоимость производства электроэнергии на базе ВИЭ и АЭС практически не изменяется.

В западноевропейских странах усредненный прогноз «внешней стоимости» различных технологий производства электроэнергии при стоимости выброса углерода 200 долл/т оцениваются следующими цифрами [1]:

- 6,4 цента/(кВт*ч) — для угольных ТЭС;
- 2,8 цента/(кВт*ч) — для газовых ТЭС;
- 0,1 цента/(кВт*ч) — для АЭС (без переработки ЯТ).

Достоинство любого топлива в экологическом аспекте - это минимальное содержание в нем минеральной массы, серы и топливного азота и соотношение содержащихся в нем углерода С и водорода Н. Повышенное содержание С приводит к более высоким выбросам CO₂ на каждую единицу тепловой энергии. CO₂ является основным компонентом парниковых газов, способных привести к глобальному изменению климата.

Важнейшими климатообразующими факторами, подверженными антропогенному влиянию, являются;

- концентрация парниковых газов в атмосфере;
- концентрация тропосферных сернокислотных и сульфатных короткоживущих аэрозолей (срок их жизни до 6 суток, в отличие от долгоживущих стратосферных аэрозолей со сроком жизни 5-7 лет).

В табл. 1. приведены данные по влиянию составляющих промышленности на глобальные выбросы.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 1

Выбросы вредных веществ в атмосферу отраслями промышленности [11].

Отрасли промышленности	Выбросы вредных веществ, %
Электроэнергетика	29
Цветная металлургия	22
Топливная отрасль	21
Черная металлургия	15
Химия и нефтехимия	3
Машиностроение	3
Лесная промышленность	3
Прочие	4
Промышленность в целом	100

Установлено **шесть веществ**, вызывающих парниковый эффект, причем **четыре** из них связаны с электроэнергетикой: диоксид углерода CO_2 , метан CH_4 , закись азота N_2O и гексафторид серы SF_6 , или так называемый элегаз. Наиболее массовыми являются выбросы диоксида углерода. Подробные данные об этих веществах приведены в [1].

На рис. 2. приведена динамика выбросов CO_2 в энергетическом секторе мира.

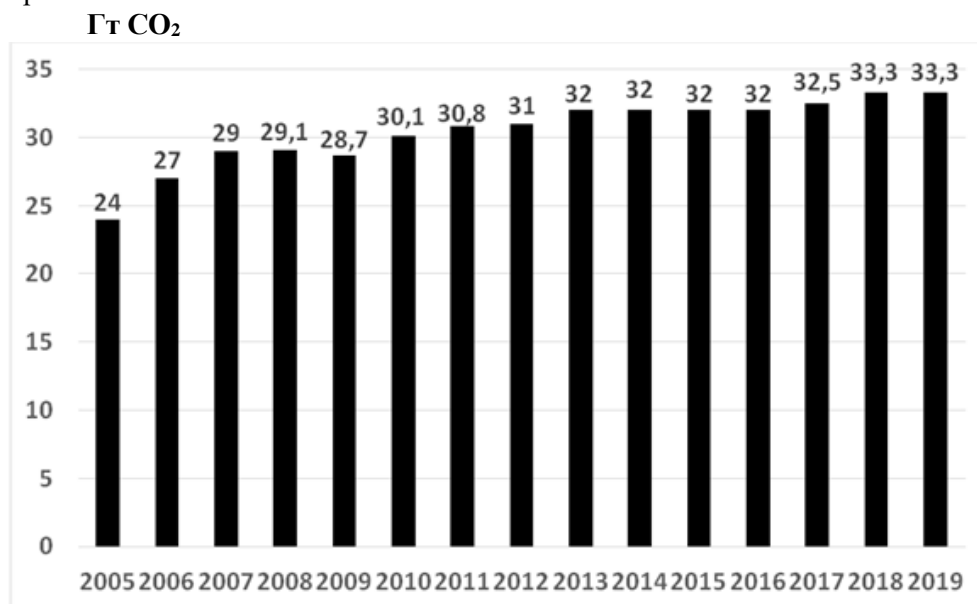


Рис. 2. Выбросы CO_2 в мировом энергетическом секторе [12]

В табл. 2. приведены данные по 15 стран мира с наибольшими выбросами CO_2 . Только на Китай и США вместе приходится более 40 % общемировой эмиссии CO_2 .

Таблица 2

Список 15 стран мира с наибольшими выбросами CO₂ [536].

№п/п	Страна	Выбросы	
		Млн. т/год	%
1	Китай	9428,7	27,8
2	США	5145,2	15,2
3	Индия	2479,1	7,3
4	Россия	1550,8	4,6
5	Япония	1148,4	3,4
6	Германия	725,7	2,1
7	Республика Корея	697,6	2,1
8	Иран	656,4	1,9
9	Саудовская Аравия	571,8	1,7
10	Канада	550,3	1,6
11	Индонезия	543,0	1,6
12	Мексика	462,5	1,4
13	Бразилия	441,8	1,3
14	ЮАР	421,1	1,2
15	Австралия	416,6	1,2
	Мир в целом	33890,8	100

Массу парниковых газов выражают обычно в CO₂-эквиваленте (CO₂-экв). Коэффициенты пересчета CH₄, N₂O, SF₆ в CO₂-экв составляют, соответственно 21, 210 и 23 900. С учетом многократного увеличения массы этих парниковых газов при пересчете в CO₂-экв доминирующим, тем не менее, остается диоксид углерода. В электроэнергетике на него приходится около 99,7 % всех выбросов парниковых газов. Это неудивительно, потому что содержание углерода в углеводородном топливе заметно преобладает над другими элементами.

Проверки соответствия электростанций требованиям экологии обычно проводятся по всем четырем парниковым газам, выбрасываемым предприятиями электроэнергетики. Для сравнительной оценки определены следующие коэффициенты эмиссии CO₂ при сжигании 1 т у.т. (0,74 т.н.э.): природного газа - 1,62 т CO₂; мазута - 2,28 т CO₂; угля - 2,76 т CO₂. Из приведенных данных следует, что перевод ТЭС с угля на газ обеспечит снижение выбросов в 1,7 раза.

По статистическим данным мировой энергетики доля выбросов CO₂ в общем соотношении используемого ресурса топлива составляет следующий баланс: уголь 44%, нефть 33 %, природный газ 23% [14].

На рис. 3. приведены выбросы CO₂ от различных видов топлива.

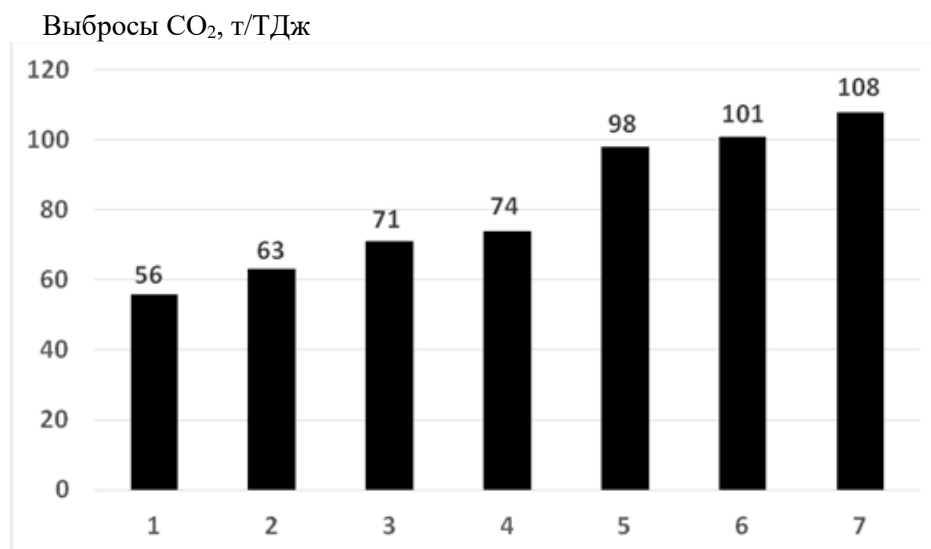


Рис. 3. Выбросы CO₂ от различных видов топлива [15]: 1 – Природный газ, 2 – Сжиженные углеводородные газы, 3 – Бензин, 4- Сырая нефть, 5 – Каменный уголь, 6- Бурый уголь, 7- Битуминозные сланцы и пески

Процесс вымывания из атмосферы кислых компонентов, в том числе и дымовых газов, называют **кислотными дождями**. В результате пресноводные водоемы и реки быстро закисляются, что приводит к гибели части водной флоры и фауны или замене их другими, более стойкими формами, но не обеспечивающими необходимую регенерацию воды.

Чтобы оценить объёмы выпадающих кислотных дождей достаточно представить себе, что одна ТЭС мощностью 1000 МВт, работающая на угле с содержанием серы около 3,5 %, несмотря на применение средств очистки, выбрасывает в атмосферу 140 тыс. тонн сернистого ангидрида в год, из которого образуется около 280 тыс. тонн серной кислоты [15].

Например, отметим, что для ТЭС на угле мощностью 2 ГВт требуется 6 млн. тонн угля (примерно 150000 вагонов угля в год, более 400 вагонов в сутки), потребление кислорода составляет около 1010 м³/год, накапливается около 1,4 млн. тонн (800 тыс. м³) твердых отходов в год.

В то же время для АЭС требуется топлива 2 вагона в год, кислород не потребляет, облученное (отработанное) ядерное топливо (ОЯТ) составляет 40-50 т (5 м³) в год. Такое громадное количество твердых отходов ТЭС не имеет никакой энергетической ценности, а изготовленное новое топливо из 50 т ОЯТ АЭС позволяет заместить 2 млн. тонн угля, 1,6 млрд. м³ газа, 1,2 млн. тонн нефти.

Образование озона в тропосфере обусловлено процессами окисления метана и окиси углерода. В стратосфере озон образуется при взаимодействии молекулярного кислорода O₂ и атомарного кислорода O в присутствии третьего элемента (этот процесс обычно происходит на поверхности аэрозольной частицы). Атомарный кислород - продукт фотолитической диссоциации молекул кислорода. Если кислород поглощает излучение Солнца главным образом в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, то основная часть излучения,

поглощаемого озоном, находится почти целиком в нижней ультрафиолетовой области.

Безотходная технология – вид организации производства с использованием сырья и энергии в замкнутом цикле: сырьё – производство – потребление – вторичное сырьё. Безотходные технологии в настоящее время активно развиваются, и их применения обеспечивает защиту окружающей среды [1].

В табл. 3. приведены удельные выбросы тяжелых металлов и опасных соединений при сжигании органического топлива.

Таблица 3

Удельные выбросы тяжелых металлов и опасных соединений при сжигании органического топлива, мг/т.у.т. [1]

Компонент выбросов	Бурый уголь	Каменный уголь	Мазут	Торф
Бенз(а)пирен	3-10	До 10	2-5	До 7
Кобальт	30-60	80	-	-
Кадмий	15-25	55	0,02	0,96-1,9
Медь	20-40	100	-	-
Свинец	130-250	До 25	До 8	До 45
Никель	50-100	80	До 900	До 10
Цинк	120-200	До 250	25	До 60
Оксид ванадия	-	-	До 0,216 кг/т.у.т.	-
Мышьяк	До 65	До 65	2,5	3,4-15
Ртуть	0,04-0,17	0,04-0,17	0,0021	0,168
Хром	До 380	До 380	1-5	1-5

Для сохранения равновесия в окружающей среде технологические процессы должны обеспечивать возврат сырья путем утилизации промышленных отходов. Поэтому утилизация отходов является важной экологической проблемой, позволяющей существенно повлиять на экологическую обстановку и снижение экологического ущерба.

Экология и энергетика Узбекистана. В связи с развитием технологий, изобилием в Узбекистане резервов возобновляемых источников энергии, интерес к использованию этих видов энергии в ближайшем будущем будет расти [16,17].

В Узбекистане уделяют большое внимание переходу и созданию «зеленой» экономики, обеспечивающей эффективную, ресурсосберегающую и экологически безопасную экономику государства в условиях изменения климата.

«Зеленая» экономика - это экономика, направленная на сохранение благополучия общества, за счет эффективного использования природных ресурсов, а также обеспечивающая возвращение продуктов конечного пользования в производственный цикл. В первую очередь, «зеленая» экономика направлена на экономное потребление тех ресурсов, которые в настоящее время подвержены истощению (нефть, газ, уголь) и рациональное использование неисчерпаемых ресурсов [18,19].

Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4477 от 04.10.2020 года «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019 — 2030 годов» [20,21], направлено на

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

совершенствование нормативно-правовой базы и политики для «зеленой» экономики, поощрение инновационных «зеленых» инвестиций через партнерские отношения между государственным и частным секторами.

Главной целью Стратегии является достижение устойчивого экономического прогресса, который способствует развитию энергетики, и, следовательно, социальному развитию, снижению уровня выбросов парниковых газов, климатической и экологической устойчивости, посредством интеграции принципов «зеленой» экономики в реализуемые структурные реформы.

В 2018 году Узбекистан ратифицировал Парижское соглашение и принял национальное обязательство сократить к 2030 году выбросы парниковых газов на единицу ВВП на 30% относительно уровня 2010 года [22].

Развитие ВИЭ в Узбекистане будет идти высокими темпами. Государство ставит цель увеличить к 2030 году до 25% долю возобновляемых источников энергии в общем объеме производства электрической энергии, сегодня этот показатель составляет 10%. Для достижения таких результатов Министерством энергетики принимаются активные меры по реализации крупных проектов в возобновляемой энергетике [24].

За 10 лет планируется, как минимум, построить фотоэлектрические солнечные электростанции (СЭС) общей мощностью 5000 МВт и ветровые электростанции на общую мощность 3000 МВт. С этой целью в настоящее время Министерством энергетики при содействии Всемирного Банка, Азиатского банка развития и Европейского банка реконструкции и развития осуществляется комплекс мер по конкурсному отбору инвесторов для реализации данных проектов, которые будут реализованы за счет прямых иностранных инвестиций [24].

На рис. 4. приведена динамика выбросов CO₂ в Узбекистане.

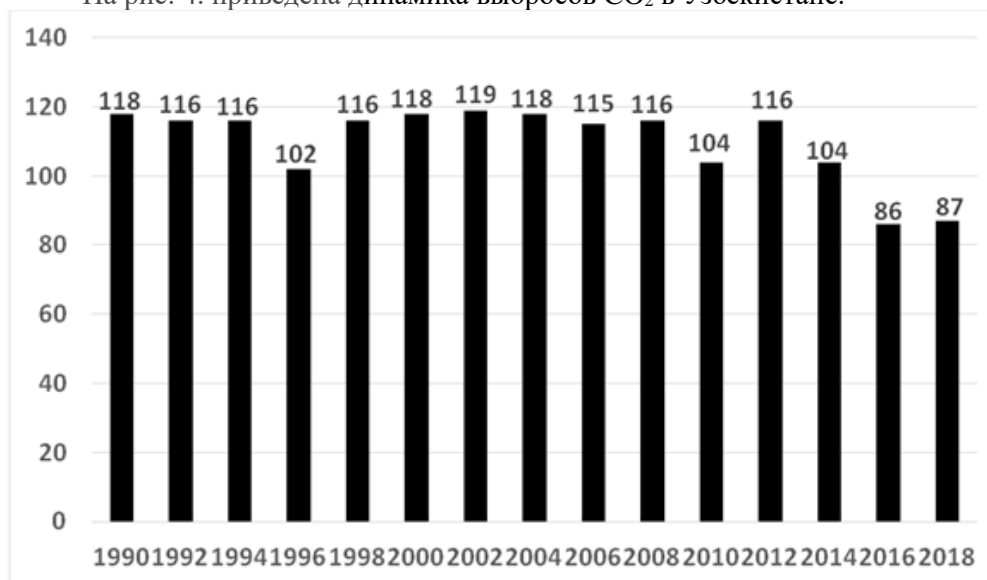


Рис. 4. Динамика выбросов CO₂ в Узбекистане [23]

Например, компания «Masdar» (ОАЭ) построили в Навоийской области СЭС мощностью 100 МВт, с тарифом 2,679 цент/ кВт*ч выработанной электроэнергии и сроком строительства в течение 12 месяцев. По оценке экспертов из

ОАЭ, солнечная электростанция производит 260 млн. кВт*ч электроэнергии в год.

«Masdar» является дочерней компанией инвестиционного холдинга Правительства Абу-Даби «Mubadala Investment Company» и одной из ведущих международных компаний по развитию возобновляемых источников энергии в мире.

Компанией «TOTAL Egen» (Франция) будет построена фотоэлектрическая станция в Нурабадском районе Самаркандской области. Соответствующее соглашение о строительстве и эксплуатации СЭС общей мощностью 100 МВт было подписано в сентябре 2019 года. С другой крупной компанией — ACWA Power подписано соглашение о строительстве ветряной электростанции мощностью 500–1000 МВт. При этом инвестиции составят до 1,1 млрд. долл. США. Срок ввода в эксплуатацию ветряной электростанции намечен на 2023 год [24].

На рис. 5. приведена динамика выбросов диоксида углерода (CO_2), на душу населения мира, включая Узбекистан.

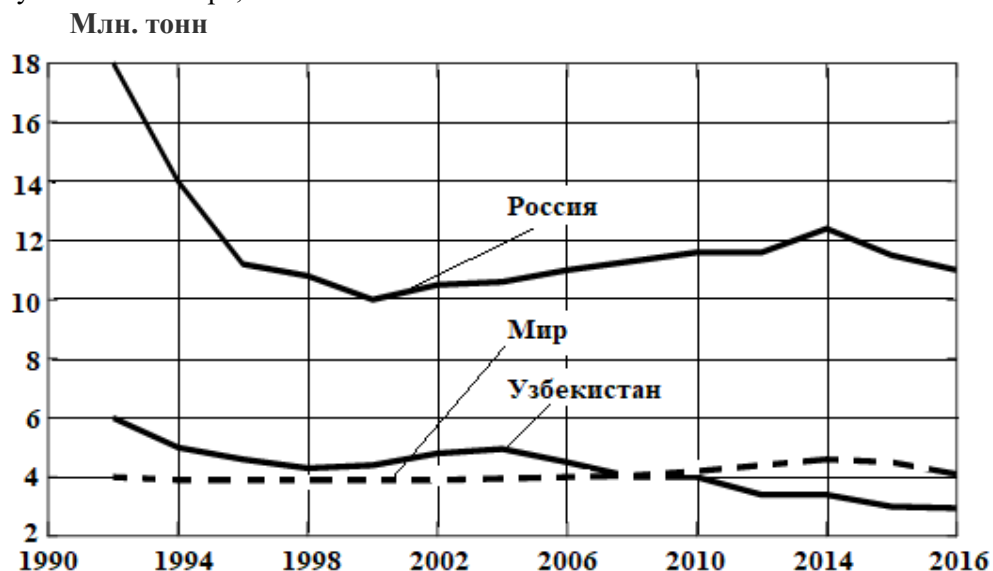


Рис. 5. Динамика выбросов диоксида углерода (CO_2), на душу населения [25]

Тепловая энергетика пока стоит на первом месте, поскольку нужно реконструировать имеющиеся электростанции и обеспечить промышленность надежным источником энергии. К тому же, ветровые и солнечные электростанции имеют нестабильную выработку, и в энергосистеме нужны тепловые и гидравлические станции в качестве пиковых мощностей, покрывающих суточные и сезонные пики энергопотребления. Без новейшей тепловой энергетике нельзя перейти к масштабной ветровой и солнечной энергетике. В настоящее время установленная мощность ТЭС в Узбекистане более 15 ГВт, а к 2030 году эта величина достигнет значения более 30 ГВт.

Планируемая АЭС также становится важным элементом новой энергосистемы. Хотя она ближе всего к тепловым электростанциям, может вырабатывать энергию постоянно и снабжать крупных потребителей, АЭС не сжигает кисло-

род, не выбрасывает углекислого газа, оксидов азота, диоксида серы, дыма и пыли. Как было отмечено в [1], АЭС необходимо отнести в группу возобновляемых источников энергии, как поступают в Китае и ЕС [30,31].

Министерство энергетики Республики Узбекистан в сотрудничестве с Министерством инвестиций и внешней торговли при поддержке ЕБРР и правительства Японии привлекло консорциум международных экспертов (Corporate Solutions, Tractebel и Guidehouse) для разработки дорожной карты по изучению возможности создания **углеродно-нейтрального сектора** производства электроэнергии в Узбекистане к 2050 году [26,27].

Ключевым выводом дорожной карты является то, что переход Узбекистана к 2050 году к энергетическому сектору с нулевым выбросом углерода **технически и экономически осуществим**. Узбекистан может быть лидером в действиях по борьбе с изменением климата в Центральной Азии и за ее пределами, поддерживая при этом устойчивый экономический рост [1,27].

Планируемое строительство солнечной, ветровой и атомной электростанций в Узбекистане диверсифицирует энергобаланс страны к 2030 году, где при реализации данного сценария совокупная доля низкоуглеродных источников генерации может составить 40,5%. Для сравнения: на конец 2019 года доля источников электроэнергии, работающих на углеводороде, в Узбекистане составила 86%.

В Узбекистане намерены привлечь в энергетическую сферу более 15 млрд. долл. США, чтобы покрыть спрос на электроэнергию, который к 2030 году возрастет более чем 120 млрд кВт*ч (сейчас 62 млрд. кВт*ч). Проекты в энергетике будут осуществляться по принципу государственно-частного партнерства (ГЧП), к их реализации привлекут средства международных финансовых институтов [28].

Таким образом, обобщая можно отметить следующее.

Долговременная тенденция развития энергетики – это симбиоз возобновляемых и атомных источников энергии, обеспечивающих кардинальное решение проблемы сохранения окружающей среды. Поэтому в долгосрочной перспективе (к 2050 году), наряду с расширением в суммарном энергобалансе Узбекистана возобновляемых источников энергии, необходимо также увеличить долю атомных электростанций, как одного из источников низкоуглеродной энергии. Атомную энергетику необходимо отнести к возобновляемым источникам энергии.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. Т. «Fan va tehnologiyalar». 2021, 953 стр.
2. Energy & Environmental Science. Vol.14, 2021; Vol 13, 2020.
3. Open Journal of Ecology. www.scirp.org/journal/oje.
4. Pant, D., Nadda, A.K., Pant, K.K., Agarwal, A.K. Advances in Carbon Capture and Utilization. In: Pant, D., Kumar Nadda, A., Pant, K.K., Agarwal, A.K. (eds) Advances in Carbon Capture and Utilization. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. 27 July 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0638-0_1.
5. Бокрис Д.О. и др. Солнечно-водородная энергетика. Пер. с англ. М. МЭИ, 2002, 162 с.

6. Серов В.И, Зайденварг В.Е. Размышления о климате и энергетике. М. Уголь, 2005, №3, с. 63-66.
7. Миронова И. Декарбонизация экономики: что это, чем грозит, и какую роль в этом процессе может сыграть природный газ? Ашхабад, Туркменистан, 2017, 19 с.
8. Парижское соглашение (2015).
9. Трамп против климата: чем грозит выход США из Парижского соглашения. ТАСС. 06.06.2017.
10. Экология энергетики: Учебное пособие. Под общей редакцией В.Я. Путилова. М. Издательство МЭИ, 2003. — 716 с.: ил.
11. Грачев В.А. Сравнительные экологические характеристики различных источников энергии. Росатом. 2014. 52 с. (<https://im0-tub-gu.yandex.net/i?id=648b4078a008387a9c1f2b104bc4762e&ref=gim&n=33&w=200&h=150>).
12. Невельский А., Оверченко М. Глобальные выбросы углекислого газа перестали расти в 2019 году.
13. Список стран по эмиссии CO₂. (https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_эмиссии_CO2).
14. Статистический ежегодник мировой энергетики 2019. (<https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-combustion.24.02.2020>).
15. Сравнение экологической эффективности различных источников энергии. Росатом. 2014. 52 с.
16. Зокиров Ш. Возобновляемая энергия для устойчивого развития. (<https://review.uz/ru/post/vozobnovlyaemaya-energiya-dlya-ustoychivogo-razvitiya.02.03.2020>).
17. Хушматова М. Государственная поддержка в секторе возобновляемой энергии в Узбекистане. (<https://gratanet.com/ru/publications/state-aid-in-the-sector-of-renewable-energy-resources-in-uzbekistan.02.10.2019>).
18. Нужен ли Узбекистану путь низкоуглеродного развития страны. (<https://nuz.uz/nauka-i-tehnika/49038-nuzhen-li-uzbekistanu-put-nizkouglerodnogo-razvitiya-strany.html.28.04.2020>).
19. Принята Стратегия перехода на «зеленую» экономику. (<https://www.gazeta.uz/ru/2019/10/08/green-economy/08.10.2019>).
20. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4477 от 04.10.2020 года «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019 — 2030 годов».
21. Постановление Президента Республики Узбекистан «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019-2030 годов», № ПП-4477 от 4 октября 2019 г.
22. Зокиров Ш. Возобновляемая энергия для устойчивого развития. (<https://review.uz/ru/post/vozobnovlyaemaya-energiya-dlya-ustoychivogo-razvitiya.02.03.2020>).
23. Энергетический профиль Узбекистана. (<http://www.eeseaec.org/energetika-stran-mira/energetika-stran-mira-evrazia/energeticeskij-profil-uzbekistana>).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

24. Развитие ВИЭ в Узбекистане – обзор. ([https://eenergy. media/2020/03/15/razvitie-vie-v-uzbekistane-obzor/](https://eenergy.media/2020/03/15/razvitie-vie-v-uzbekistane-obzor/)).

25. Юнидо. Решения в области устойчивой энергетики и экологически чистые технологии в Восточной Европе, на Кавказе и в Центральной Азии. Фреснер, Дж., Кренн, К., Шёнинг, С. Доклад Организации Объединенных Наций по промышленному развитию, Вена, Австрия.2018.61 с.

26. В ближайшие 30 лет Узбекистан перейдет к углеродно-нейтральной энергетике. (<https://uz.sputniknews.ru/society/20210131/15902795/V-blizhayshie-30-let-Uzbekistan-pereydet-k-uglerodno-neutralnoy-energetike.html>.01.02.2021).

27. Сидорович В. Правительство Узбекистана опубликовало план перехода к углеродно-нейтральной электроэнергетике. (<https://renen.ru/pravitelstvo-uzbekistana-opublikovalo-plan-perehoda-k-uglerodno-nejtralnoj-elektroenergetike/30.01.2021>).

28. Узбекистан разработал национальную стратегию зеленой энергетики. (<https://www.atomic-energy.ru/news/2020/05/29/104150>).

29. Energy Efficiency 2021. IEA. 103 p. (<https://www.iea.org>).

30. Климов А. Европа признала газ и атом чистой энергией. Но в зеленое будущее их брать не хочет. (<https://www.bbc.com/russian/features-59923526>).

31. После энергокризиса 2021 года Европа причислила газ и уран к зеленой энергетике. (<https://www.vedomosti.ru/business/articles/907586-2022/02/02/zelenoi-energetike>).

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 323:620.9:621.311

**СОВРЕМЕННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА:
ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ****А.А. Михалевич, А.Ж. Гребеньков**

Ёқилги-энергетика мажмуасини глобал ва минтақавий миқёсда ривожлантириши бўйича мавжуд статистик маълумотлар таҳлили шуни кўрсатадики, ҳозирги вақтда энергетика сиёсатининг йўналишлари ва устуворлик жиҳатлари сезиларли даражада ривожланиб бормоқда. Энергияга бўлган талабнинг тузилишининг жадал суръатларда ўзгариши, қазилма ёқилгиларнинг аҳамияти аста-секин пасайиб бориши ва кам углеводородли иқтисодиётга ўтиши муқобил энергия манбаларидан кенг миқёсларда амалий фойдаланишни талаб қилади. Мазкур глобал энергетик ўтиши энергия бозори тузилмасини қайта кўриб чиқиши, ёқилги-энергетика ресурслари балансини диверсификация қилиши, рақобатнинг кучайиши ва натижада истеъмолчининг роли ҳамда энергия сиёсатини шакллантиришида унинг танловининг кучайишига олиб келади. 2020 йилнинг иккинчи ярмидан бошлаб ушбу сиёсатга 2022 йил февралдан бошлаб янада кучайган глобал ва минтақавий бозорларда қазилма ёқилги котировкаларининг юқори ўзгарувчанлиги таъсир кўрсатмоқда. Мазкур воқеа замида қайта тикланадиган энергия манбалари соҳасига киритилаётган сармоялар анъанавий энергетика соҳасига нисбатан ошиб кетди. Шу билан бирга, COVID-19 пандемияси даврида юзага келган инфляция энергетика соҳасини ривожлантиришидаги инвестиция салоҳиятини чеклаб турмоқда. Қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасининг иқтисодиётда углеводород ҳажмдорликни камайтиришидан ташқари, бугунги кундаги муҳим муаммолардан бири бўлган иқлим ўзгаришига боғлиқ соҳалардан бири сифатида мазкур тармоқнинг заифлигини камайтириши ва барқарорлигини ошириши вазифаси долзарб аҳамият касб этмоқда. Мазкур мақолада икки минтақа иқтисодиёти мисолида, тегишли энергия сиёсатининг шаклланиши муайян минтақанинг иқлим хусусиятлари, бирламчи энергия манбалари, шу жумладан углеводород ёқилгилари захирасининг мавжудлиги, иқтисодий ва ижтимоий ривожланиш омиллари ҳамда сиёсий жиҳатларга боғлиқ деган хулосага келинди. Ушбу кўрсаткичлар ҳудудларда соҳани янада такомиллаштириши, самарадорлик, барқарорлик ва хавфсизликни таъминлаш йўналишлари бўйича қарор қабул қилишига таъсир кўрсатади. Мақолада шунингдек, жаҳондаги асосий етакчи мамлакатлар иқтисодиёти ҳамда кўриб чиқилаётган минтақавий бирлашмаларнинг энергетика соҳаси ривожланишининг бугунги анъана ва дастурларига асосланган ўрта муддатли ривожланиш прогнозлари ҳам берилган.

Проведенный анализ доступных статистических данных о развитии топливно-энергетического комплекса в глобальном и региональном масштабах показывает, что в настоящее время происходит заметная эволюция направлений и приоритетов энергетической политики. Быстро меняется структура спроса

на энергию, при этом значение ископаемых видов топлива постепенно снижается, а переход к низкоуглеродному миру и циркулярной экономике требует производства и использования альтернативных источников энергии. Этот переход ведет к реструктуризации энергетических рынков, диверсификации баланса топливно-энергетических ресурсов, усилению конкуренции и повышению роли потребителя и его выбора в формировании энергетической политики. Начиная со второй половины 2020 года на эту политику влияет большая волатильность котировок ископаемых видов топлива на мировых и региональных рынках, которая с февраля 2022 года еще более усилилась. На этом фоне инвестиции в возобновляемые энергоисточники, которые меньше подвержены риску ценовой неопределенности, уже превысили таковые в традиционную энергетику. В то же время инфляция, сложившаяся со времени пандемии COVID-19, ограничивает инвестиционный потенциал развития энергетического сектора. Помимо задач по снижению углеродоемкости, важной проблемой становится также снижение уязвимости и повышение устойчивости работы этого сектора, как одного из наиболее погодозависимых. На примере двух региональных экономических образований сделан вывод о том, что соответствующую энергетическую политику формируют климатические особенности, доступность первичных энергоисточников, включая углеводородные, факторы экономического и социального развития и политические предпосылки. От этих параметров зависит принятие решений в отношении направлений дальнейшего совершенствования, повышения эффективности, устойчивости и безопасности развития отрасли в регионах. Даются также среднесрочные прогнозы развития энергетики основных мировых экономик и рассматриваемых региональных объединений, с основу которых легли тренды и существующие программы развития.

The analysis of available statistical data on the development of the fuel and power engineering complex on the global scale and the scale of two regional associations indicates that a noticeable evolution of the directions and priorities of energy policy is currently taking place. The structure of energy demand is changing rapidly, with the importance of fossil fuels gradually declining and the transition to a low-carbon world and a circular economy requiring the production and use of alternative energy sources. This transition leads to the restructuring of energy markets, diversification of the balance of fuel and energy resources, increased competition and role of a consumer and its choice in the formation of energy policy. Starting from the second half of 2020, this policy is affected by the high volatility of fossil fuel prices both in global and regional markets, which has increased even more since February 2022. Against this background, investments in renewable energy sources, which are least exposed to the risk of price uncertainty, have already exceeded those in traditional energy. At the same time, the inflation that has developed since the COVID-19 pandemic limits the investment potential for the development of the energy sector. The tasks related to reducing vulnerability and raising sustainability of this sector, as one of the most weather-dependent, are also becoming important issues in addition to the tasks of reducing its carbon intensity. Based on the example of two regional economic unions, it was concluded that the appropriate energy policy is shaped by climatic features, availability of primary energy sources, including hydrocarbons, factors of economic and social development, and political prerequisites. These parameters deter-

mine the decision-making regarding the directions for further improvement and increase of the efficiency, sustainability and security of the industry development in the regions. On the basis of trends and existing development programs, the medium-term forecasts are also given for the development of the fuel and power engineering sector of the main world economies and the considered regional associations.

Введение. В концепциях национальной безопасности многих стран создание устойчивого энергообеспечения экономики и социальной сферы представлено в качестве необходимого условия для эффективного развития, а недостаток энергоресурсов считается одной из наиболее опасных из ныне существующих или потенциальных угроз. Учет и устранение этой угрозы, включая другие риски и неопределенности, с которыми глобальная энергетическая система сталкивается сейчас и столкнется в ближайшей перспективе, является наиболее важной и актуальной задачей при формировании современной энергетической политики.

Как следует из результатов обзора доступной информации¹, в современном мире эти угрозы приросли целым рядом напряженностей, противоречий и конфликтов между экономиками различных стран в Европе и мире. Инфляция, которая со времени пандемии COVID-19 возглавила список предполагаемых экономических опасностей, особенно усилилась для стран, вовлеченных в геополитические конфликты, и в настоящее время ограничивает инвестиционный потенциал, оставаясь главной угрозой поиску и поддержке новых эффективных путей развития энергетики. Высокая ценовая неопределенность на мировых и региональных рынках всех энергоресурсов, неустойчивость котировок и значительные колебания цен на природные энергоносители существенно обострили риски для развития традиционной энергетики. В этой связи растущий рейтинг возобновляемых энергоисточников заметно и быстро изменяет направления и приоритеты развития энергетического сектора. Глобальные климатические изменения, которые привели к интенсивным международным переговорам и обязательствам значительного сокращения углеродоемкости мировой экономики, также становятся существенными в формировании энергетической политики каждой страны на основе постепенного отказа от ископаемых видов топлива, повышения энергоэффективности и сокращения энергоемкости валового внутреннего продукта, уменьшения воздействия на окружающую среду. Кроме того, заметный рост количества и интенсивности природных и погодных катаклизмов в свою очередь требует адаптации энергетической отрасли, как одной из наиболее погодозависимых, к новым условиям.

¹ В данной работе для последующего анализа глобальных и региональных аспектов развития энергетического сектора использовались открытые источники информации, содержащих статистические данные, такие как статьи, другие публикации и содержание библиотек Международного энергетического агентства, Организации экономического сотрудничества и развития, Всемирного банка, Европейской комиссии, Управления энергетической информации США, Группы ООН по устойчивому развитию, Европейской экономической комиссии ООН, Секретариата Рамочной конвенции ООН об изменении климата, аналитических групп компаний BP p.l.c. (Бритиш Петролеум), EnerGData e.o. и другие источники.

Целью настоящего исследования является обзор современных мировых и региональных тенденций и приоритетов в энергетической политике, примеров и рекомендаций по решению задач устойчивого и эффективного развития энергетического сектора и других отраслей, зависящих от поставок топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), с учетом упомянутых выше угроз и неопределенностей. Анализ и детальное рассмотрение результатов этого обзора позволит скорректировать направления и программы развития энергетического сектора на национальном уровне и в региональных образованиях.

Состояние и перспективы развития энергетики на глобальном уровне

В настоящее время под давлением накопившейся критической массы технологических инноваций и необходимости снижения углеродоемкости мировая экономика вошла в очередной период фундаментальных изменений, включая эволюцию направлений и приоритетов энергетической политики. Переход к низкоуглеродному миру требует создания и распространения альтернативных источников энергии, превосходящих по экологичности, качеству, защищенности, надежности и оперативности существующие ископаемые источники. Переход к циркулярной экономике требует развития единой взаимосвязанной и взаимозависимой системы производства, преобразования, передачи и потребления энергоресурсов. Структура спроса на энергию быстро меняется, при этом значение ископаемых видов топлива постепенно снижается, уступая место возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) и возрастающей электрификации. Эти тенденции отражаются в фундаментальной реструктуризации глобальных энергетических рынков с более диверсифицированным балансом ТЭР, усилением конкуренции между производителями и энергоисточниками, повышением роли потребителя и его выбора в формировании энергетической политики, а также в устойчивом и последовательном сокращении энергопотребления.

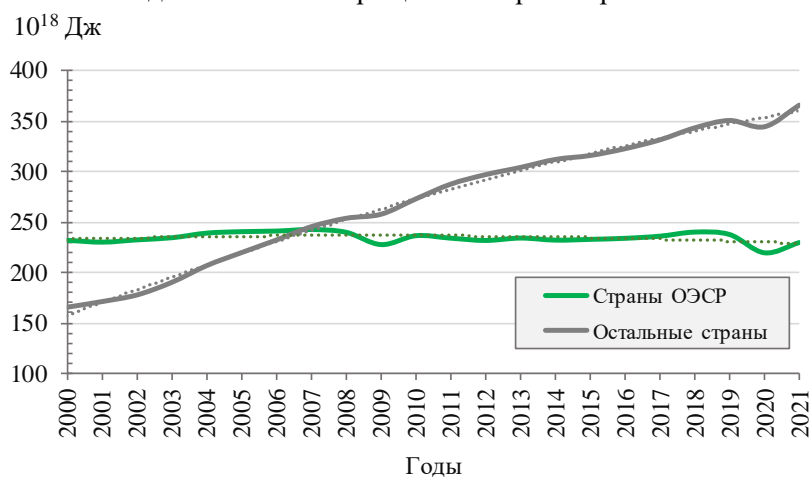


Рис. 1. Валовое потребление первичных ТЭР в мировой экономике [1]

Отмеченные выше преобразования нашли свое отражение в первую очередь в изменении валового потребления первичных энергоресурсов. Этот показатель (рис. 1) характеризуется постепенным сокращением в государствах-членах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), которые на рубеже 2010 года прошли максимум потребления. Страны с развиваю-

щейся экономикой, находясь на этапе индустриализации, все еще поддерживают спрос на ископаемые виды топлива со средним темпом роста потребления за последние 20 лет около 2,8%.

Рассматривая международную политику и практику в этой сфере, следует отметить, что глобальная энергоёмкость, т.е. валовое потребление первичных ТЭР на единицу мирового валового внутреннего продукта (ВВП), за последние 20 лет сокращалась в среднем на 1,5% в год (рис. 2) при росте ВВП на 3,1% в год. В последние два года такое сокращение несколько замедлилось, что было связано с экономическим спадом из-за пандемии COVID-19 (падение ВВП в 2020 году составило 3,4%), которая затронула все сектора, а не только самые энергоёмкие. При этом уровни, динамика и тенденции сокращения энергоёмкости сильно различаются по странам и регионам (см. примеры на рис. 2), что отражает различия в экономическом и технологическом развитии, структуре экономики и энергетической политике, а также особенности соответствующих климатических зон.

В России и других странах СНГ после заметного снижения энергоёмкости в период экономических преобразований (1990-2000 годы) в последние 10 лет наметилась стагнация и постепенное повышение энергопотребления на единицу ВВП (пример России приведен на рис. 2). Энергоёмкость росла в ряде стран Средней Азии и Ближнего Востока, в Африке (сильный рост в Нигерии и Южной Африке, контрастирующий с улучшениями в Алжире и Египте) и в Латинской Америке (увеличение в большинстве стран, кроме Мексики). Высокая энергоёмкость и ее рост в некоторых странах объясняется преобладанием энергоёмких производств, сырьевой экспортной экономикой и низкими ценами на природные энергоносители, не стимулирующими сокращение энергопотребления на единицу ВВП.

МДж/долл.

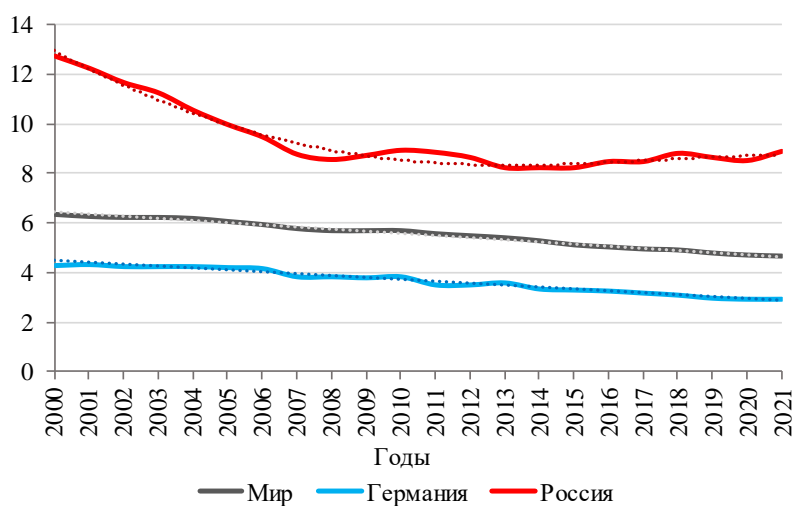


Рис. 2. Глобальная энергоёмкость мирового ВВП (по паритету покупательной способности) и энергоёмкость национальных ВВП Федеративной Республики Германии и Российской Федерации [1]

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В течение последних двадцати лет энергоемкость Китая сокращалась в среднем примерно на 3% ежегодно, достигнув уровня на 43% ниже уровня 2000 года, оставаясь, тем не менее, все еще на 27% выше среднего мирового значения. Соединенные Штаты Америки (США) и Европейский Союз (ЕС) сокращали свою энергоемкость примерно на 2% в год благодаря повышению энергоэффективности, особенно в энергетическом секторе, строительстве и эксплуатации жилья, а также электрификации автомобильного транспорта. В меньшей степени это сокращение было достигнуто за счет структурного сдвига в сторону менее энергоемких отраслей промышленности (например, в сферу услуг), доля которых в ВВП этих экономик всегда была заметной и стабильной. Причем, в последние два года сокращение энергоемкости экономики США существенно ускорилось – ежегодное среднее уменьшение энергопотребления на единицу ВВП составляло 4,2%.

Таким образом, основной тенденцией в мировой энергетической политике является сокращение энергоемкости и постепенный переход на низкоуглеродные ТЭР при производстве и потреблении энергии, которые в основном базируются на ВИЭ. К таковым энергоисточникам относят также и ядерную энергию, доля которой в конечном энергопотреблении на протяжении последних лет сохраняется на уровне около 4,4% за счет ввода новых атомных станций в Азии, Центральной и Восточное Европе, странах Африки и Латинской Америки [2]. За период 2000-2021 годы суммарная установленная мощность АЭС в странах, не входящих в ОЭСР, увеличилась в 2,4 раза, достигнув 8,038 эксаджоулей [3]. Важным элементом в развитии этого направления может стать создание саморазвивающейся системы атомной энергетики с использованием ядерных реакторов на быстрых нейтронах. До Чернобыльской катастрофы исследования в области реакторов на быстрых нейтронах велись в США, СССР, Франции, Великобритании, Японии, Германии. Например, в Минске, в Институте ядерной энергетики Академии наук БССР был выполнен технический проект с экспериментальным обоснованием уникальной опытно-промышленной АЭС с «быстрым» реактором и диссоциирующим теплоносителем электрической мощностью 300 МВт (БРИГ-300) с расчетным временем удвоения ядерного топлива 10 лет. Сегодня в России технология реакторов на быстрых нейтронах достигла промышленной и коммерческой стадии: на Белоярской АЭС уже более 40 лет успешно эксплуатируется блок с таким реактором мощностью 600 МВт и 6 лет – блок мощностью 800 МВт, а к 2035 году ожидается окончание строительства блока мощностью 1200 МВт [4].

Подобные тенденции в развитии низкоуглеродного мирового энергетического сектора могут быть подтверждены динамикой некоторых ключевых индексов (табл. 1 и рис. 3).

Таблица 1
Динамика основных индексов мировой энергетической системы [5, 6]

Наименование показателя	2019 год	2021 год	Динамика изменения: 2021 год к 2019 году
Доля ископаемых видов топлива в производстве энергии (%)	83,0	82,0	0,988

Наименование показателя	2019 год	2021 год	Динамика изменения: 2021 год к 2019 году
Доля природного газа в выработке электроэнергии (%)	23,7	22,9	0,966
Доля ВИЭ в первичных ТЭР (%)	11,41	13,47	1,181
Доля ВИЭ в выработке электроэнергии (%)	26,7	28,3	1,060
Годовой прирост производства энергии из ВИЭ без гидроэлектростанций (%)	9,0	15,0	1,667
Годовой прирост ядерной энергии в конечном потреблении (%)	3,55	3,95	1,113
Суммарная емкость накопителей энергии (ГВт)	184,6	199,0	1,078
Структура первичных ТЭР по видам топлива (эксаджоуль):			
нефть	193,03	184,21	0,954
природный газ	141,45	145,35	1,028
уголь (включая торф и горючие сланцы)	157,86	160,10	1,014
ядерная энергия	24,92	25,31	1,016
гидроресурсы	37,66	40,26	1,069
ВИЭ (без гидроэлектростанций)	28,98	39,91	1,377

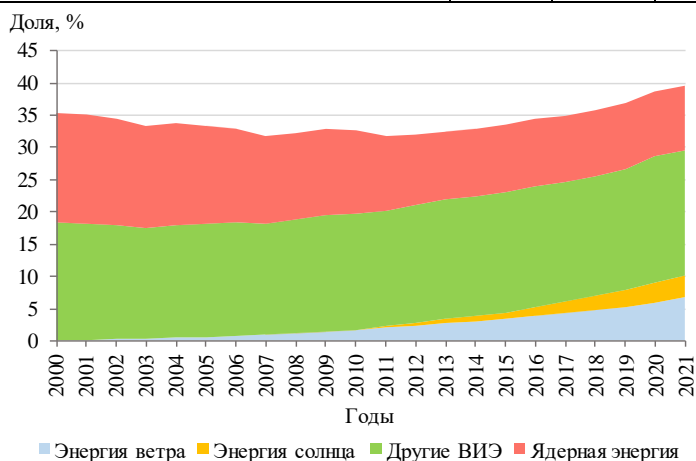


Рис. 3. Структура потребления низкоуглеродных ТЭР в мире при производстве электроэнергии [6]

Энергетика Китая является показательным примером такой тенденции (рис. 4), где за последние 20 лет доля ВИЭ в выработке электроэнергии достигла почти 30% с темпами роста примерно более 12% в год, а доля атомных станций – 4,9% с темпами роста 17,2% в год.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

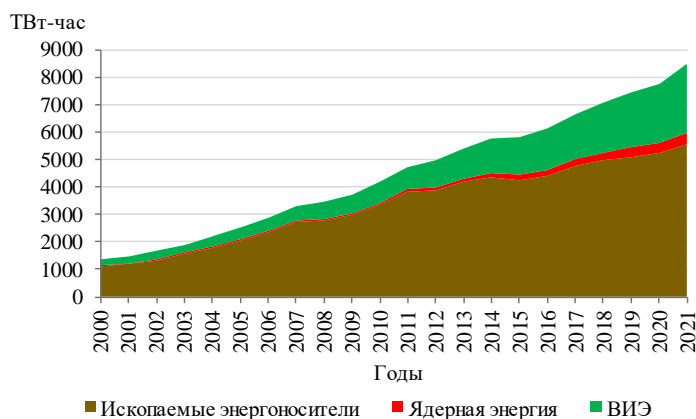


Рис. 4. Структура потребления ТЭР при производстве электроэнергии в Китайской Народной Республике [7]

Необходимо отметить, что в последнем двухлетнем периоде показатели развития мировой энергетической системы были обусловлены высокой неопределенностью энергетической политики на региональных и национальных уровнях. В 2021 году это было связано с последствиями пандемии COVID-19, что привело, например, к сокращению суточного прироста объема потребления нефти на 41% и соответствующему падению мощностей в нефтеперерабатывающей сфере на 0,5 млн баррелей в сутки, а в 2022 году – с рядом сложных международных и региональных конфликтов, что приводило к резким колебаниям и росту цен на основные первичные ТЭР. Так за указанный период цены на природный газ резко выросли во всех трех основных газовых регионах (см. рис. 5 с примером колебаний и прогнозов на бирже Henry Hub в США [8]). Возврат к более умеренным, привычным ценам ожидается к середине 2023 года.

По оценке Международного энергетического агентства, [9], в 2021 году инвестиции в низкоуглеродную энергетику составили 366 млрд. долл. США, что более чем в три раза выше, чем в энергетику на основе ископаемого топлива. За счет этих инвестиций крупнейшие энергетические компании выводят из эксплуатации углеродоемкие энергоисточники, замещая их более эффективными низкоуглеродными мощностями, в том числе, атомными (например, в Беларуси). В ближайшие 5 лет продолжится постепенный переход от прямых мер государственной поддержки, таких как субсидии, зеленые тарифы, к конкурентным схемам – аукционам, системам зеленых сертификатов, прямым договорам поставки электроэнергии между производителями и потребителями и прочее. Цель этих решений – сократить зависимость экономики от производства, распределения и потребления ископаемых видов топлива на энергетические цели. Снижение спроса на ископаемое топливо, растущее разнообразие топливного баланса вместе с растущей ролью выбора потребителя приводя к росту конкуренции между различными видами энергии и топлива, к большей устойчивости и предсказуемости развития энергетики.

Анализ этих трендов и существующих программ развития мировых экономик позволяет сделать следующий среднесрочный прогноз в отношении эво-

люции глобальной энергетической политики и ее целевых показателей (см. [10, 11, 12]):

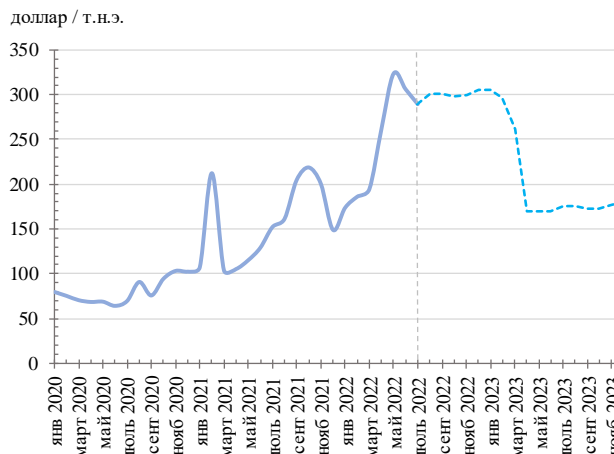


Рис. 5. Колебания спотовых цен и фьючерсы на природный газ в США

– начиная с 2030 года рост мирового валового потребления первичных ТЭР существенно замедлится, в том числе за счет энергоэффективности и внедрения циркулярных принципов развития экономики;

– из ископаемых топлив только газ к 2050 году сможет нарастить свою долю в мировом энергобалансе с 22% до 24-26%, уголь снизит свою долю с 28% до 19-23%, а нефть – с 32% до 25-27%, потеряв до 1800 млн. тонн из-за роста эффективности транспортных средств и распространения электротранспорта;

– по всем прогнозным сценариям доля ископаемых видов топлива в структуре первичных ТЭР начнет быстро сокращаться не из-за исчерпания запасов, а по причине ограничений на стороне спроса, что приведет к сокращению их доли в первичных ТЭР к 2050 году с нынешних 82% до, приблизительно, 60%, причем ряд сценариев предполагают такое сокращение до их доли ниже 20-30% (рис. 6);

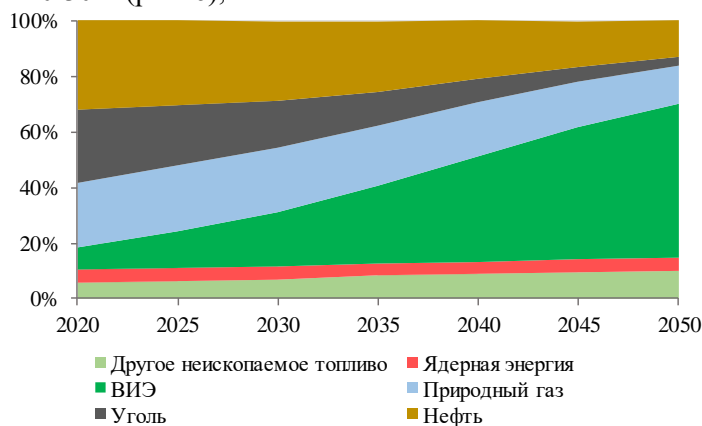


Рис. 6. Изменение доли различных видов первичных ТЭР по одному из прогнозных сценариев [10, 11, 12]

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

– согласно большинству сценариев, общий рост энергопотребления в развивающихся экономиках будет обеспечиваться не за счет роста производства ископаемых ТЭР, а за счет ввода новых низкоуглеродных источников энергии, включая ВИЭ, и сокращения энергопотребления странами ОЭСР;

– конечное потребление ТЭР к 2050 году сократится в странах ОЭСР минимум на 25% (по некоторым сценариям примерно на 50%) и существенно замедлит свой рост в остальном мире (в среднем не более 0,3% в год с нынешних 1,9%);

– спрос на электроэнергию и доля электроэнергии в конечном энергопотреблении будет расти и к 2040 году она вырастет до 24%, причем быстрое развитие ВИЭ и других новых низкоуглеродных источников позволит обеспечивать к тому времени 35-50% мирового производства электроэнергии и 19-25% всего конечного энергопотребления;

– ускорится развитие децентрализованной генерации электроэнергии, включая поиск решений в области ее накопления;

– электроэнергетические рынки продолжат свое развитие в сторону сокращения ценовых перекосов и поощрения конкуренции;

– продолжится мобилизация дополнительных инвестиций в устойчивую энергетику, соответствующие технологические инновации и энергоэффективность (последние в 2021 году достигли 300 млрд. долл. США, которые должны утроиться к 2030 году);

– продолжится расширение международного сотрудничества, включая передачу технологий и наращивание человеческого и институционального потенциала в развивающихся странах.

Состояние и перспективы развития энергетики на региональных уровнях.

Рассмотрим региональную энергетическую политику на примере экономических союзов нескольких стран, формирующих свою единую энергосистему, которая одновременно осуществляет внешнюю торговлю энергоресурсами с соседним региональным объединением. В данный обзор входят страны Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС) и страны Европейского Союза (далее – ЕС).

Из анализа, представленного ниже (рис. 7), следует, что баланс и структура валового потребления первичных ТЭР этих двух объединений существенно различаются друг от друга и от мировых показателей.

В основе этих различий лежат климатические особенности, доступность первичных энергоисточников, включая углеводородные ТЭР, факторы экономического развития и политические предпосылки, которые формируют соответствующую энергетическую политику и оказывают влияние на принятие решений в отношении направлений ее дальнейшего совершенствования, включая повышение энергобезопасности, надежности и эффективности энергоснабжения и уменьшения воздействия на окружающую среду.

Евразийский экономический союз (ЕАЭС). Государствами-членами ЕАЭС с общим населением примерно 183,95 млн. человек (2,3% от всего населения в мире) являются Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан и Россия.

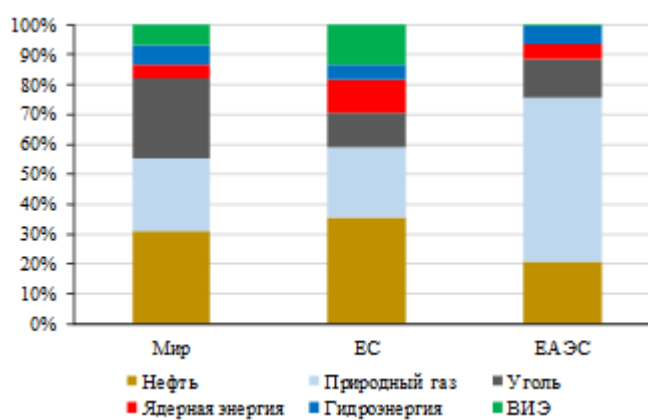


Рис. 7. Структура и баланс валового потребления первичных ТЭР в 2021 году [13]

В 2021 году ВВП по паритету покупательной способности этого регионального объединения составил 5 610,4 млрд. долл. США (3,82% в структуре мирового ВВП), а объем внешней торговли своими товарами (в основном – это минеральное сырье) с третьими странами – 731,1 млрд. долл. США (2,4% мирового экспорта). Подобно другим экономикам, промышленное производство ЕАЭС в 2020 году сократилось из-за пандемии COVID-19 (на 2,4% по сравнению с 2019 годом), увеличившись в 2021 году (на 5,3% по сравнению с 2020 годом) и составив 2,2% мирового промышленного производства. Наблюдателем в ЕАЭС и активным торговым партнером стран-членов является Республика Узбекистан.

Энергетические системы стран ЕАЭС прошли через несколько этапов реформирования и реструктуризации, которые были частью общего политического и экономического перехода от центрального планирования к рыночным принципам. Характер этих процессов, которые все еще имеют место в странах региона, определялся несколькими основными факторами. Основным из них является продолжающаяся ориентация на доступность ископаемых энергоносителей и, как следствие, - незаинтересованность в сокращении энергоемкости, диверсификации экономики и инвестициях в импортозамещающие технологии, что не способствует созданию условий для устойчивого и безопасного развития топливно-энергетических комплексов (ТЭК).

Одной из целей стран ЕАЭС является создание общих рынков газа и электроэнергии к 2025 году. Однако зависимость государственных доходов от конъюнктуры мирового рынка углеводородных ТЭР увеличивает риски в формировании единого энергетического рынка и отражается на темпах модернизации ТЭК национальных экономик стран-членов ЕАЭС. Высокая доля государства в основном капитале ТЭК, большая часть элементов которого, включая сети, полностью контролируется и управляется госструктурами, слабое развитие инструментов государственно-частного партнерства и сохраняющееся перекрестное субсидирование также не способствует модернизации и повышению эффективности данного сектора, развитию альтернативной энергетики. Показателем этого в последние 10 лет является продолжающийся рост валового потребления пер-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

вичных ТЭР (рис. 8) при существенном замедлении темпов сокращения энергоёмкости ВВП и даже заметном росте энергозатрат на производство единицы ВВП для некоторых стран союза (рис. 9).

Структура первичных ТЭР в странах ЕАЭС в рассматриваемом периоде с 2000 по 2021 годы оставалась практически неизменной, где ископаемые виды топлива составляли более 70% (рис. 10). Среди стран-членов этого союза Беларусь, Армения и Кыргызстан являются нетто-импортерами энергоресурсов, и для них энергетическая безопасность в части устойчивого обеспечения первичными ТЭР – это наиболее важный вопрос энергетической политики. В то же время эти страны региона занимают стратегически выгодное географическое положение между значительными экспортерами энергоресурсов – Россией и странами Центральной Азии с одной стороны, и их крупными потребителями – ЕС и Китайской Народной Республикой с другой, что делает эти страны ЕАЭС важным элементом энергетической политики как экспортеров, так и импортеров углеводородов, привлекая инвестиции в межрегиональный транспорт ТЭР.

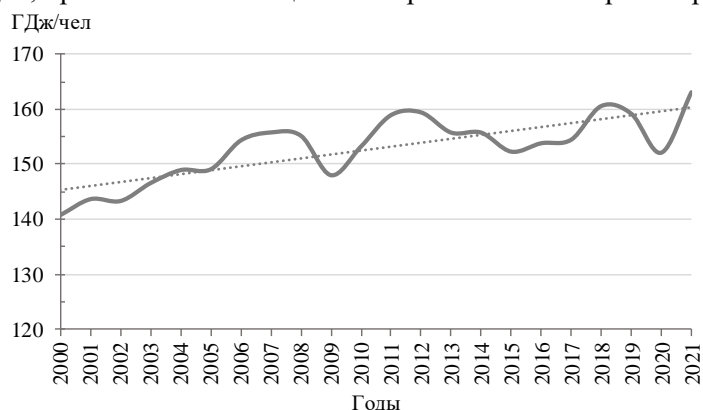


Рис. 8. Валовое потребление первичных ТЭР на душу населения в государствах-членах ЕАЭС [14]

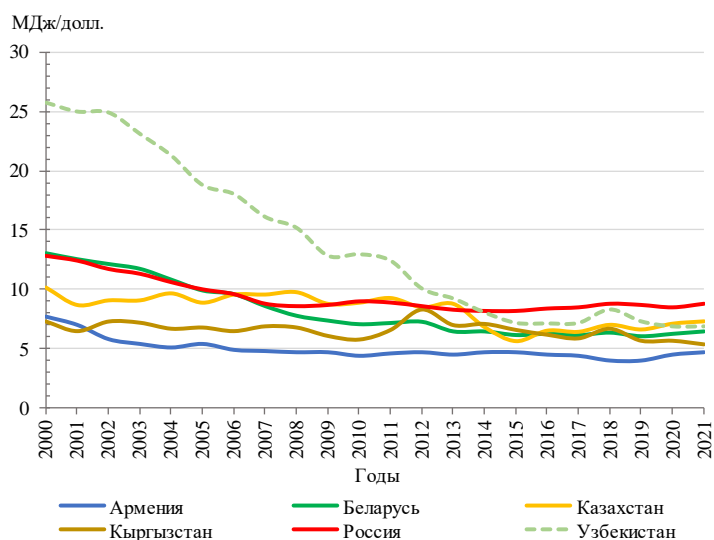


Рис. 9. Энергоёмкость национальных ВВП государств-членов ЕАЭС [1, 7, 14-18]

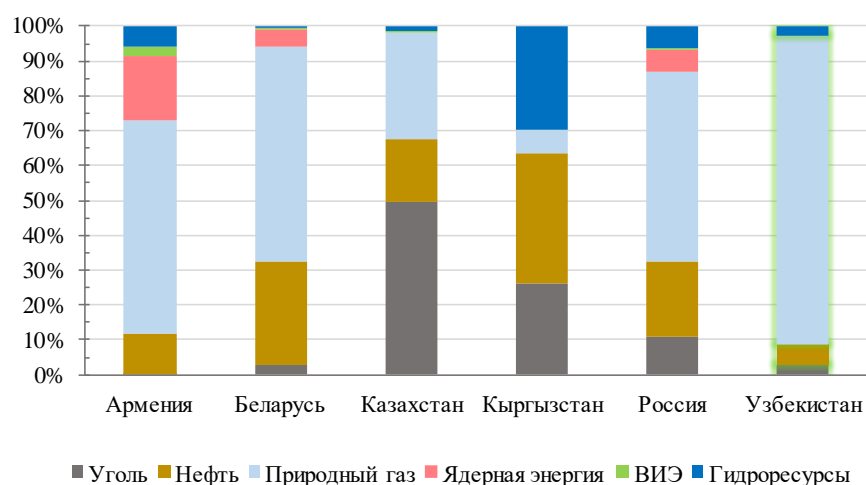


Рис. 10. Структура и баланс валового потребления первичных ТЭР в странах ЕАЭС [7, 14, 16, 18]

Существенный экономический рост стран-членов ЕАЭС с середины 1990-х годов незначительно повлиял на энергопотребление различных отраслей экономики вследствие слабых изменений, произошедших в экономической основе этих стран. Начиная с 2000 года, значения конечного потребления ТЭР и его структура колебались приблизительно на одном уровне. Основной расход энергии приходился на сектор ЖКХ и промышленность, за ними следовал транспорт (рис. 11). Заметный рост потребления энергоносителей наблюдался, однако, в транспортном секторе Армении, где этот показатель за период с 2000 по 2021 год вырос в 4 раза.

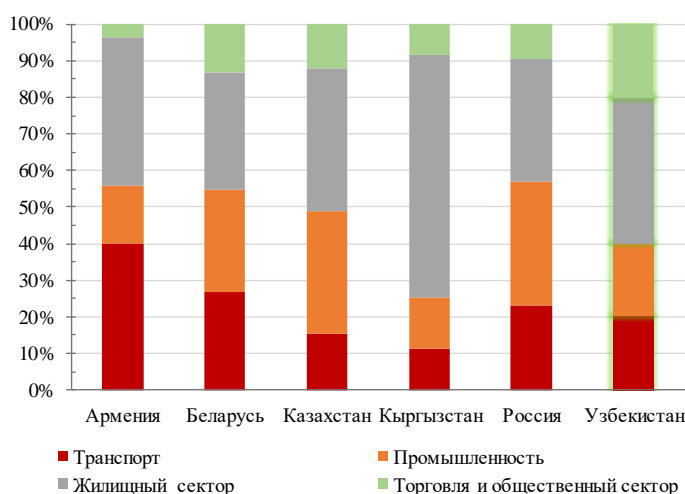


Рис. 11. Баланс и структура конечного потребления ТЭР по секторам в странах ЕАЭС [7, 18-21]

Армения [20] в своей энергетической системе в качестве крупнейшего первичного ТЭР использует природный газ, который страна импортирует из России и который является также основным энергоносителем в общем конечном потреблении. Газовый сектор Армении остается вертикально интегрированной монополией, управляемой и принадлежащей «Газпром Армения», дочерней компании российского «Газпрома». В настоящее время в этом секторе нет ни конкуренции, ни доступа третьих сторон. Однако, согласно Энергетической стратегии, утвержденной в 2021 году, правительство Армении намерено пересмотреть все законодательство в газовой сфере к 2024 году, и в рамках этого в 2022 году приступит к разработке новых нормативных правовых актов. В Армении нет разведанных запасов нефти, нефтедобычи и нефтеперерабатывающих заводов. В результате страна импортирует все свои нефтепродукты из более чем 40 стран, среди которых доля поставок из России составляет более половины. Одновременно доля их в структуре конечного потребления постоянно снижается, даже в секторе транспорта, где бензин и дизель замещается сжиженным газом.

Практически четверть первичных ТЭР и базовой мощности конечного потребления обеспечивается гидроресурсами и Армянской атомной электростанцией, срок эксплуатации которой, согласно Энергетической стратегии, будет продлен. Большая часть производства гидроэлектроэнергии в Армении приходится на две группы крупных электростанций. За последние 20 лет велось активное строительство малых ГЭС в ответ на привлекательные льготные тарифы и другую поддержку, однако реализация этих проектов в последние годы замедлилась из-за более строгих правил размещения, установленных в ответ на растущую озабоченность по поводу воздействия гидростанций на окружающую среду.

Вклад других низкоуглеродных источников в структуру энергопотребления небольшой, хотя текущая политика направлена на существенное увеличение доли ВИЭ, особенно фотоэлектрической энергии. Мощность солнечных электростанций в настоящее время невелика, но ожидается, что она станет основным источником роста новых ВИЭ из-за механизмов поддержки, а также из-за снижения стоимости соответствующего оборудования во всем мире. Планируется, что мощность солнечных фотоэлектрических станций к 2024 году достигнет 100 МВт и 1000 МВт к 2030 году, и на тот момент будет составлять не менее 15% от общего объема производства электроэнергии.

Республика Беларусь [22, 23], несмотря на нехватку внутренних источников углеводородных ТЭР, которые удовлетворяют не более 15% национальных потребностей, добилась устойчивого экономического роста за счет импорта первичных ТЭР и диверсификации высокотехнологического производства и экспорта машин и оборудования, минеральных продуктов, химикатов, металлов, сплавов, текстиля, сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Однако с момента обретения независимости в стране было проведено мало структурных реформ в энергетическом секторе, который находится в ведении двух вертикально интегрированных национальных компаний ГПО «Белэнерго» и ГПО «Белтопгаз». Беларусь зависит от импорта ТЭР из России, но является одновременно важной частью транзитного коридора для российских углеводородов в Западную Европу. Беларусь импортирует из России сырую нефть, но почти 70% этих поступлений реэкспортируется в виде нефтепродуктов.

Основными приоритетами энергетической политики, изложенной в ряде национальных стратегий и программ, являются обеспечение надежности и повышение эффективности работы сектора энергетики при одновременном снижении зависимости от импорта углеводородов и повышении финансовой устойчивости сектора. К стратегическим задачам также отнесено сокращение валового потребления ТЭР и сближение энергоемкости ВВП со среднемировым значением этого показателя.

Правительство рассматривает возможность диверсификации первичных ТЭР для производства электроэнергии, чтобы включить в него, помимо действующей АЭС, больше ВИЭ. В Беларуси имеется большой потенциал использования ВИЭ. К 2021 году суммарная установленная электрическая мощность установок ВИЭ составила 491 МВт, что почти в 10 раз превышает показатель пятилетней давности. Использование ВИЭ к настоящему времени составляет 7,4% от общего объема производства первичных ТЭР. Биотопливо, биогаз и возобновляемые отходы обеспечивают 96,8% всех источников ВИЭ, гидроэнергетика – 2,2%, геотермальная, солнечная энергия и энергия ветра – 1,0%.

В среднесрочной перспективе (до 2025 года) Беларусь ориентируется на повышение энергетической самостоятельности и энергоэффективности с ежегодным замещением 4,5 млрд. кубометров природного газа в год за счет АЭС, местных ТЭР и ВИЭ, на снижение энергоемкости ВВП более, чем на 7%. Электродома и электротранспорт составят более 30% от введенных в эксплуатацию. Коммунальные отходы будут повторно использоваться в объеме 64-65%, в т.ч. для производства энергии.

Казахстан [24, 25] является вторым по величине производителем и потребителем первичных ТЭР в энергосистеме ЕАЭС. В этой стране отрасли промышленности, связанные с добычей, переработкой и транспортом нефти и природного газа, производят 17% ВВП. Значительный общий избыток производства ископаемых видов топлива оставался стабильным в течение последних двух десятилетий, превышая внутренний спрос в среднем в 2,3 раза. Это позволило Казахстану стать крупным нетто-экспортером ископаемого топлива, особенно нефти, около 80% которой экспортируется. Почти весь экспорт проходит через Россию, в то время как диверсификация экспортных маршрутов важна для надежного выхода на прибыльные экспортные рынки. В последние годы на нефть приходилось более 50% конечного потребления ТЭР внутри страны, идущих на производство тепла и электроэнергии, а на природный газ – 17%.

Запасы угля в Казахстане являются одними из крупнейших в мире, и их добыча относительно недорога. В настоящее время на уголь приходится около 28% конечного энергопотребления с одним из самых высоких в мире показателей использования угля в домашних хозяйствах. Многие угольные электростанции устарели, неэффективны и сильно загрязняют окружающую среду.

Концепция перехода к зеленой экономике, принятая в 2013 году, предусматривает производство 50% электроэнергии из альтернативных или возобновляемых источников, в число которых может входить ядерная энергия. В 2020 году правительство приняло План мероприятий по реализации данной Концепции, в котором Казахстан подтвердил свои намерения по увеличению доли ВИЭ в производстве электроэнергии. Однако интеграция растущих мощностей ВИЭ в

Казахстане становится все более сложной задачей из-за большого объема базовой мощности, работающей на угле, и практического отсутствия гибкой мощности, позволяющей дополнять прерывистый характер ВИЭ.

Кыргызская Республика [26] находится на пересечении крупных рынков Китая, Южной и Центральной Азии, и России и, таким образом, может привлекать значительные региональные и межрегиональные инвестиции в энергетику. Обильные водные ресурсы Кыргызстана делают гидроэнергетику важным источником энергии (почти 30% первичных ТЭР), а уголь является вторым по значимости источником первичных ТЭР (около 50%). Добыча угля увеличилась более чем в четыре раза с 2010 года благодаря решению правительства снизить зависимость от импортного угля, способствовать децентрализации теплоснабжения в горных районах и свести к минимуму использование электроэнергии для целей отопления домохозяйствами. Производство этого вида ТЭР в настоящее время превышает спрос, и экспорт угля в соседние страны увеличивается. Большинство компаний, работающих в угольной отрасли, малы и не имеют финансовых ресурсов для инвестирования в новые технологии и модернизацию производственного оборудования. Запасы нефти и природного газа незначительны, что делает страну зависимой от импорта природного газа, нефти и нефтепродуктов.

Важным потребителем энергии является жилищно-коммунальный сектор, на который приходится около 65% от общего конечного потребления. Продолжающийся рост бытового потребления ТЭР обусловлен низкими тарифами, одними из самых низких в мире, которые установлены значительно ниже себестоимости.

Правительство Кыргызстана приняло долгосрочную Стратегию устойчивого развития на 2018–2040 годы и сопутствующую ей Среднесрочную национальную программу развития до 2026 года. В этих программных документах правительство определило основную цель для энергетического сектора – это снизить зависимость страны от углеводородных источников энергии и довести долю возобновляемых источников энергии (без крупных ГЭС) до 10% в общем энергетическом балансе страны.

Российская Федерация [27-29] занимает особую позицию в ЕАЭС. Страна входит в тройку крупнейших нефтедобывающих стран мира и обладает также крупнейшими запасами природного газа, занимая по его добыче второе место. Россия является крупным экспортером ископаемого топлива, на долю которой приходится около 15% мировой торговли углем, 10% – нефтью и 8% – газом. В 2021 году доходы рынка нефти и природного газа составляли 45% федерального бюджета.

Россия на сегодняшний день поставляет в страны ЕС примерно 30-40% общих энергетических потребностей этого союза. Великобритания относительно независима от экспорта энергоносителей из России: только 4% потребляемого ею газа и 8% потребляемой нефти импортируются из России. По объемам поставок Россия является, соответственно, вторым и четвертым поставщиком нефти и природного газа (трубопроводного и СПГ) в Китай, а Китай — вторым по величине рынком сбыта угля из России. Хотя в настоящее время экспорт природного газа из России в Китай ограничен примерно 10 млрд. кубометров, ожидается его

десятикратное увеличение к 2030 году, при этом строительство новых трубопроводов уже ведется или утверждено.

Одним из важных стратегических ориентиров долгосрочной энергетической политики является постепенный переход экономики на низкоуглеродное развитие. В качестве ключевых направлений такого развития приняты повышение энергоэффективности, создание в отдаленных и труднодоступных районах сети малых АЭС, как низкоуглеродных источников, и развитие ВИЭ.

Сейчас доля установленных мощностей ВИЭ в структуре первичных ТЭР составляет не более 0,2% (без крупных ГЭС), однако темпы развития ВИЭ могут оказаться достаточными для перехода к низкоуглеродной энергетике в рамках заявленных страной сроков (2060 год) и с учетом большого потенциала.

Прогнозный топливно-энергетический баланс России на период до 2030 года предусматривает снижение доли газа в потреблении первичных ТЭР до 46-47%, увеличение доли альтернативных источников энергии и ВИЭ в потреблении первичных ТЭР до 13-14% и масштабное снижение удельной энергоемкости экономики (в 2,1-2,3 раза) при незначительном росте внутреннего потребления (в 1,4-1,6 раза), экспорта (в 1,1-1,2 раза) и производства энергоресурсов (в 1,3-1,4 раза).

Республика Узбекистан [30, 31], являясь наблюдателем в структурах ЕАЭС, сохраняет, тем не менее, со странами-членами союза устойчивые исторические связи в сфере экономики и энергетики. Республика располагает значительными разведанными запасами природного газа, превышающими 2,2 трлн. кубометров. В эксплуатации находятся 98 газовых и конденсатных месторождений, и страна занимает одиннадцатое место в мире по добыче природного газа – 60-70 млрд. кубометров в год. Ежегодное увеличение добычи этого углеводородного сырья в последние годы составляет в среднем 3%, а добыча нефти, запасы которой оцениваются в 81 млн. тонн, достигнув в начале 2000 годов пика в более, чем 1,5 млн. тонн, постепенно снижается – в среднем на 5% в год. Угля в стране ежегодно добывается около 4,1 млн. тонн.

Примерно четверть добываемого природного газа страна экспортирует в Китай, Россию, Казахстан и другие страны Центральной Азии (около 8,0 млрд, 4,5 млрд, 2,5 млрд. и 0,5 млрд. кубометров, соответственно). Для своих нефтеперерабатывающих предприятий Узбекистан закупает дополнительно около 30% от объема добываемой в стране нефти, при этом экспортирует примерно 100-150 тысяч тонн произведенных нефтепродуктов. Валовое потребление произведенной электроэнергии на душу населения превышает 2 тысячи кВт-ч, а производство электроэнергии из альтернативных источников энергии составляет около 0,03 млн. кВт-ч.

В республике начаты крупномасштабные работы по переходу страны на низкоуглеродный путь развития, что также должно способствовать устойчивому развитию энергетики страны. К 2030 году планируется довести долю ВИЭ до 25% в общем объеме производства электроэнергии в стране. Принимая во внимание, что Узбекистан, благодаря разведанным запасам урана (седьмое место в мире), занимает четвертое место в мире по производству и экспорту малообогащенного урана, в стране в августе 2019 года принято решение и начато строительство первой атомной электростанции мощностью 2400 МВт.

Европейский союз (ЕС)

Государствами-членами ЕС с общим населением примерно 447,2 млн человек являются Австрия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Кипр, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швеция и Эстония (до 1 февраля 2020 года в состав союза входила Великобритания). Согласно данным европейской статистики [32], в 2020 году ВВП по паритету покупательной способности этого регионального объединения составил 14 926,5 млрд. долл. США (16,7% в структуре мирового ВВП), а объем внешней торговли своими товарами с третьими странами – 6 866,2 млрд долларов США (39,1% мирового экспорта). Промышленное производство в 2020 году сократилось на 7,2% по сравнению с 2019 годом с последующим увеличением на 5% в 2021 году, составив 15,6% мирового промышленного производства.

ЕС импортирует примерно 60% своих общих энергетических потребностей, причем в 2021 году поставки природного газа, нефти и угля из России составляли, соответственно, 41,1%, 26,9% и 46,7% этого импорта, что обеспечило, соответственно, 35%, 20% и 25% конечного потребления ТЭР. В то же время, диверсифицированный баланс валового потребления первичных ТЭР (рис. 12) снижает риски неустойчивого энергообеспечения экономики стран СЭС.

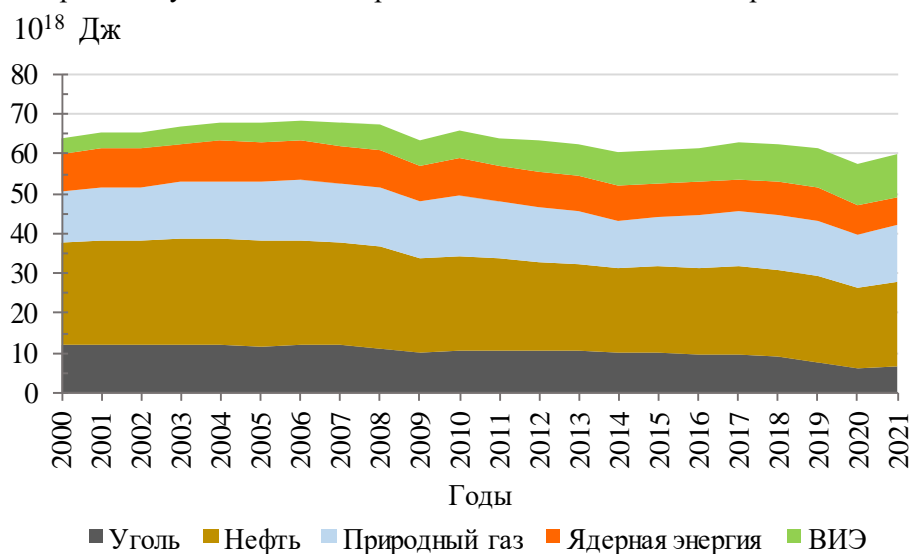


Рис. 12. Структура и баланс валового потребления первичных ТЭР в ЕС [6, 7, 33-34]

Для повышения устойчивости и безопасности функционирования ТЭК энергетическая политика ЕС направлена на эффективное использование первичных ТЭР (которые, как сказано выше, являются в большой степени импортируемыми) и на их замену местными ТЭР и ВИЭ. Страны ЕС на всех этапах энергетической цепочки наметили цели и выполняют ряд мер по реализации этой политики (табл. 2). Эти меры за последние 20 лет позволили достичь почти двенадцатипроцентного снижения потребления первичных ТЭР (рис. 13).

Таблица 2

Решения стран ЕС в отношении основных целевых показателей энергетической политики [33, 34]

Цели	2020 год	2030 год	Новые цели 2030 года
Сокращение выбросов парниковых газов по сравнению с уровнем 1990 года (%)	20	40	55
Доля ВИЭ в первичных ТЭР (%)	20	27	32
Повышение энергоэффективности (%)	20	26,7	39

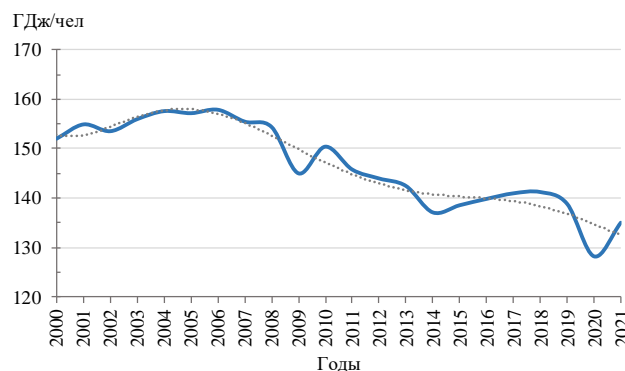


Рис. 13. Потребление первичных ТЭР на душу населения в государствах членах ЕС [14]

В период 2000-2021 годы совокупный ВВП стран ЕС прирастал со средним ежегодным темпом 2,8%, при этом среднегодовой темп сокращения энергоёмкости ВВП был практически постоянным и составлял 1,8%, ускорившись в последние два года до 2,5%. В результате к настоящему времени энергоёмкость экономики стран ЕС сократилась на 42% по сравнению с уровнем 2000 года и продолжает снижаться (рис. 14).

В 2023 году, ввиду устойчивого достижения промежуточных показателей, предусмотрено пересмотреть соответствующие Директивы ЕС в сторону ужесточения целей на 2030 год. Ожидается принятие решений в сторону более широкого применения ВИЭ и использования отходящего тепла для энергоёмких промышленных установок. Будут внесены новые положения, позволяющие гражданам играть активную роль в развитии ВИЭ – создание возможностей для сообществ, использующих ВИЭ и децентрализованное потребление возобновляемой энергии, будет повышен целевой показатель доли возобновляемых видов топлива на транспорте и будут определены более строгие критерии для обеспечения устойчивости биоэнергетики. Меры по увеличению доли устойчивых ВИЭ в энергобалансе могут снизить общую экологическую и климатическую нагрузку по сравнению с другими формами энергии. Европейская платформа ресурсосбережения, объединяющая страны ЕС, призвана обеспечить переход к циркулярной экономике, которая основывается на повторном использовании и высококачественной переработке первичного сырья.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

является координация, согласование и, во многих случаях, объединение нормативных правовых актов, регулирующих устойчивость развития энергетики, с законодательными актами, положения которых регулируют переход экономики на низкоуглеродный путь развития. Примером может служить Европейская система торговли выбросами, а также Европейский зеленый курс – принятая странами-членами ЕС дорожная карта по обеспечению устойчивости экономики ЕС, включая энергетический сектор.

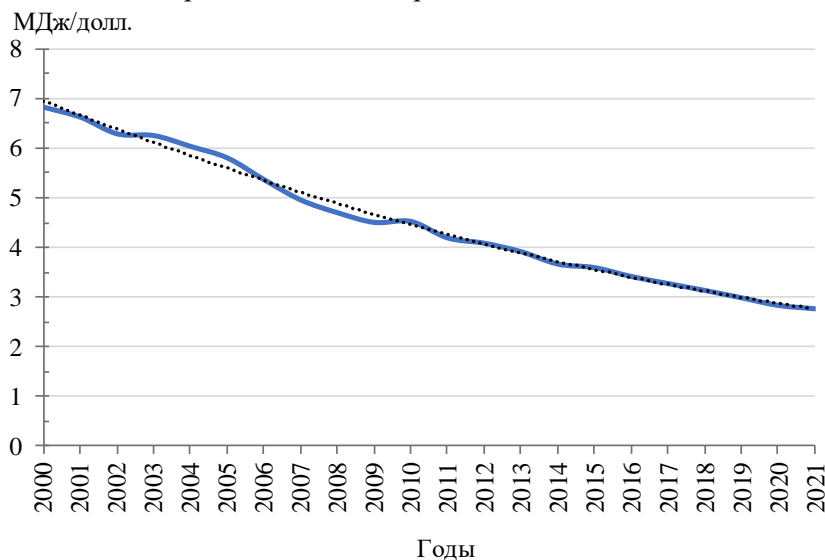


Рис. 14. Энергоемкость общего национального продукта государств-членов ЕС [1, 7, 35]

Важным элементом энергетической политики ЕС на современном этапе В 2022 году страны-члены ЕС, учитывая растущий риск неустойчивости и возможного сокращения импорта из России и волатильность рынка углеводородных ТЭР, дважды соглашались на исключительный шаг по высвобождению нефти из своих чрезвычайных резервов (в сумме было предоставлено примерно 200 млн. баррелей), чтобы снизить риски дефицита первичных ТЭР. Однако, даже при заполнении хранилищ и запасов газа на 90%, многие страны ЕС столкнулись с повышенным риском перебоев с поставками первичных энергоносителей в случае полного отключения России от европейского рынка ТЭР.

Чтобы снизить риск, связанный с зависимостью от импорта первичных ТЭР, повысить энергобезопасность и сохранить устойчивость и надежность энергоснабжения, в странах ЕС планируется наметить и реализовать ряд мероприятий. Эти мероприятия (табл. 3) могут представить собой одну из эффективных версий региональной энергетической политики для многих стран и экономических союзов при необходимости быстрого изменения структуры и баланса первичных ТЭР и в условиях сокращения сроков перехода на альтернативные энергоресурсы.

Таблица 3

Меры по снижению риска для устойчивого развития энергетики

Наименование мероприятия	Возможные приобретенные преимущества
Внедрение аукционных платформ	Стимулирует потребителей ТЭР к снижению спроса. Промышленные потребители ТЭР могут предлагать часть своих законтрактованных поставок в качестве продуктов снижения спроса за компенсацию, что может привести к повышению эффективности и конкурентному процессу торгов. Модели подобных аукционов разрабатываются в Германии и Нидерландах.
Сведение к минимуму использование дефицитного ТЭР в энергетике	Временное увеличение выработки электроэнергии на других углеводородах при одновременном ускорении развертывания низкоуглеродных источников, включая ядерную энергетику, где это политически приемлемо и технически осуществимо.
Координация поставок ТЭР и электроэнергии	Улучшение координации между операторами поставок ТЭР и электроэнергии, в том числе в отношении механизмов снижения пиковых нагрузок, может помочь уменьшить влияние сокращения поставок дефицитного ТЭР на энергосистемы. Такая координация должна включать тесное сотрудничество по эксплуатации ТЭК на национальных и региональных уровнях.
Установление директивными органами цен на выбросы углерода	Создание мотивационного и стимулирующего механизма для развития низкоуглеродных технологий с сокращением потребления дефицитных углеводородных ТЭР.
Ускорение внедрения форм хранения энергии	Увеличение накопительной емкости систем накопления сгладит неустойчивость поставок ТЭР и увеличит индекс энергобезопасности.

Главные направления энергетической политики для устойчивого развития.

Выполненный выше обзор и анализ глобальных аспектов современной энергетической политики с двумя примерами в масштабе региональных экономических объединений позволяет сформулировать ключевые положения, выводы и рекомендации в отношении основных направлений дальнейшего совершенствования, повышения эффективности, устойчивости и безопасности развития отрасли в регионах.

В частности, в электроэнергетике стран ЕАЭС предлагается разделить цепочки поставок электроэнергии с созданием оптового рынка и независимого национального регулятора, что позволит расширить участие независимых производителей и увеличит долю децентрализованной генерации. Такая реструктуризация также будет способствовать увеличению использования местных топлив и ВИЭ, повышению энергоэффективности и в целом к росту инвестиций во всей цепочке формирования стоимости энергоносителей, которые необходимы энергетическому сектору. В теплоэнергетике необходимо продолжить усилия по ликвидации перекрестного субсидирования, что даст возможность как государственным, так и частным участникам ТЭК контролировать и планировать окупаемость своих затрат, создаст условия для прозрачного рынка с ростом конкурентоспособности тех производителей, которые нацелены на сокращение углеродоемкости своих услуг, и повысит качество отчетности. Стоит рассмотреть также совершенствование тарифов на тепловую энергию в части введения дифференцированных тарифов по параметрам теплоносителя.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Необходимо также учесть растущие ограничения для углеродоемкой продукции на мировом рынке и обратить внимание на действенность фискальных и мотивационных механизмов в развитии эффективной низкоуглеродной экономики. Необходимо, чтобы энергетическая политика включала в себя разработку НПА, содержащих элементы налоговой и инвестиционной политики, торговли эмиссионными квотами, а также вопросы налогообложения, субсидий на ископаемое топливо и льгот для отдельных секторов экономики с учетом трансграничного углеродного регулирования.

Для стран-членов ЕАЭС на основании анализа динамики энергоёмкости ВВП несложно сделать вывод, что в настоящее время относительно малозатратные технологические приемы и оборудование для повышения энергоэффективности национальной экономики были уже использованы в предыдущие периоды развития, и в настоящее время требуются новые политические и управленческие решения, которые будут мотивировать субъектов энергетической отрасли, как производителей, так и потребителей, инвестировать в сокращение удельного потребления ископаемых ТЭР.

Дальнейшая разработка соответствующих НПА должна внедрять ряд принципов, ведущих к развитию экономики замкнутого цикла, смягчению изменения климата и адаптации к климатическим изменениям. Необходимо учесть тот факт, что в большинстве национальных документов стран ЕАЭС, регулирующих энергетическую отрасль и смежные направления, отсутствуют положения, связанные с тематикой климата, отсутствует упоминание о климатических изменениях, политике и мерах по сокращению выбросов парниковых газов. Важным элементом должно стать согласование соответствующих положений НПА и программных документов в энергетической отрасли с конкретными положениями природоохранного законодательства и климатическими обязательствами стран.

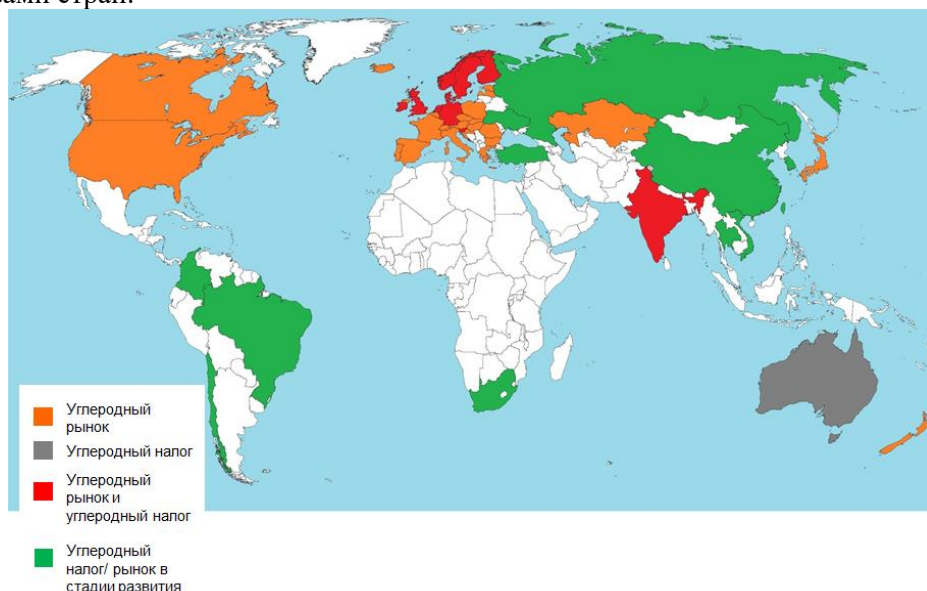


Рис. 15. Системы финансового регулирования углеродоемкости экономики в мире [36]

Необходимо разработать правовые основы для финансовых инструментов, которые будут стимулировать частный капитал к участию в программах по энергоэффективности и ВИЭ. Среди таких инструментов в мировой практике можно найти и фискальные меры (например, налог с тонны выбросов ПГ в зависимости от вида сжигаемого топлива, трансграничный налог), и рычаги поощрения (субсидии, льготы, стимулирующие тарифы), и дополнительные меры (углеродное финансирование, кредитование, углеродные рыночные механизмы). Углеродными механизмами в мире за 20 последних лет охвачено (включая национальный и региональный уровни и добровольные рынки углерода) как минимум 4,2 млрд. тонн CO₂ (см. рис. 14), причем на добровольном рынке в 2019 году был достигнут рекордный объем транзакций в размере не менее 104 млн. тонн CO₂, что на 6 процентов больше, чем в 2018 году.

На практике многие страны постепенно уходят от мер прямой государственной поддержки (субсидии, зеленые тарифы, квотирование) к конкурентным схемам (аукционы, система зеленых сертификатов, прямые договоры поставки, углеродный налог, трансфер технологий и экологически чистые закупки). Сокращение удельного расхода ТЭР на выпуск продукции должно стать прямым конкурентным преимуществом участников таких схем. Причем, с учетом динамики котировок CO₂ на рынке европейской системы торговли квотами, дополнительная мотивация для участия частного капитала может быть найдена в национальных системах торговли выбросами. Такие инструменты следует разработать и предложить также для функционирования энергосервисных компаний.

Литература

1. Energdata e.o., “World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2022”, Energy intensity, Jul. 5, 2022, [Online]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>. [Accessed: Aug. 10, 2022].
2. International Atomic Energy Agency, “Nuclear Power Reactor in the World”, *International Atomic Energy Agency*, IAEA-RDS-2/42, Jun. 2022. [Online]. Available: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-42_web.pdf. [Accessed: Aug. 10, 2022].
3. International Atomic Energy Agency, Power Reactor Information System (PRIS), “The Database on Nuclear Power Reactors. In-Operation & Long-Term Shutdown”, Aug. 22, 2022, [Online]. Available: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>. [Accessed: Aug. 23, 2022].
4. Nuclear Engineering International, “Russia to build BN1200 by 2035”, Jan. 17, 2022, [Online]. Available: <https://www.neimagazine.com/news/newsrussia-to-build-bn1200-by-2035-9406431>. [Accessed: Aug. 10, 2022].
5. BP p.l.c., Centre for Energy Economics Research and Policy, “Statistical Review of World Energy 2021”, *BP p.l.c., Centre for Energy Economics Research and Policy.*, 70th edition, Jul. 2021, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>. [Accessed: Aug. 10, 2022].
6. BP p.l.c., Centre for Energy Economics Research and Policy, “Statistical Review of World Energy 2022”, *BP p.l.c., Centre for Energy Economics Research*

and Policy., 71th edition, Jun. 2022, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

7. GitHub, Inc., “Our World in Data Energy dataset”, Aug. 9, 2022. [Online]. Available: <https://github.com/owid/energy-data.git>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

8. Insider Inc. and finanzen.net GmbH, “Markets Insider”, Aug. 2022. [Online]. Available: <https://markets.businessinsider.com/commodities/natural-gas-price>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

9. International Energy Agency, “World Energy Investment 2022”, *International Energy Agency*, Flagship Report No.952363, Jun. 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022>, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b0beda65-8a1d-46ae-87a2-f95947ec2714/WorldEnergyInvestment2022.pdf>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

10. The U.S. Energy Information Administration, “International Energy Outlook 2021 with Projections to 2050”, *The U.S. Energy Information Administration*, Narrative, Oct. 2021 [Online]. Available: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/IEO2021Narrative.pdf>, https://www.eia.gov/outlooks/ieo/tables_side_xls.php. [Accessed: Aug. 10, 2022]

11. BP p.l.c., “Energy Outlook 2022 Edition”, *BP p.l.c.*, Mar. 14 2022, [Online]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022.pdf>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

12. 2025 Could Mark a Tipping Point for the Low-Carbon Energy Transition, Author: Esther Whieldon, Oct. 1, 2021. [Online]. Available: <https://www.spglobal.com/esg/insights/2025-could-mark-a-tipping-point-for-the-low-carbon-energy-transition>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

13. BP p.l.c., “Statistical Review of World Energy”, Jun. 2022, [Online]. Available: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

14. BP p.l.c., “Statistical Review of World Energy”, Downloads, Consolidated data set panel format, Jun. 2022, [Online]. Available: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

15. World Bank, “Sustainable Energy for All (SE4ALL) database”, Jun. 30, 2022, <https://data.worldbank.org/indicator/EG.EGY.PRIM.PP.KD>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

16. United Nations Economic Commission for Europe, “Indicator 7.3.1, Energy intensity level of primary energy”, Jul.2020, [Online]. Available: <https://w3.unece.org/SDG/en/Indicator?id=24>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

17. International Energy Agency, “Energy intensity data set (SDG 7.3.1)”, Mar. 30, 2022, [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/sdg7-database>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

18. International Energy Agency, “Share of modern renewables data set”, Mar. 30, 2022, [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/sdg7-database>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

19. International Energy Agency, “Energy efficiency indicators database (June 2022 edition) – Highlights”, Jun. 17, 2022, [Online]. Available: <https://www.iea.org/>

[data-and-statistics/data-product/energy-efficiency-indicators-highlights](#). [Accessed: Aug. 10, 2022].

20. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division, “2022 Energy Statistics Pocketbook”, *United Nations Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division*, ST/ESA/STAT/SER.E/5, 2022. [Online]. Available: <https://unstats.un.org/unsd/energystats/pubs/documents/2022pb-web.pdf>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

21. International Energy Agency, “Armenia energy profile”, Country report, Dec. 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/armenia-energy-profile>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

22. International Energy Agency, “Belarus energy profile”, Country report, Apr. 2020. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/belarus-energy-profile>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

23. Enerdata e.o., “Belarus energy report”, Jul. 2021. [Online]. Available: <https://www.enerdata.net/estore/country-profiles/belarus.html>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

24. International Energy Agency, “Kazakhstan energy profile”, Country report, Jun. 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/kazakhstan-energy-profile>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

25. Enerdata e.o., “Kazakhstan energy report”, Aug. 2021. [Online]. Available: <https://www.enerdata.net/estore/country-profiles/kazakhstan.html>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

26. International Energy Agency, “Kyrgyzstan energy profile”, Country report, Sep. 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/kyrgyzstan-energy-profile>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

27. International Energy Agency, “Russia energy profile”, Country report, Mar. 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/countries/russia>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

28. Enerdata e.o., “Russia energy report”, Jan. 2022. [Online]. Available: <https://www.enerdata.net/estore/country-profiles/russia.html>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

29. GitHub, Inc., “Our World in Data Energy dataset. Russia: Energy Country Profile”, Aug. 9, 2022. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/energy/country/russia>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

30. International Energy Agency, “Uzbekistan energy profile”, Country report, Oct. 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/uzbekistan-energy-profile>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

31. Enerdata e.o., “Uzbekistan energy report”, Jul. 2021. [Online]. Available: <https://www.enerdata.net/estore/country-profiles/uzbekistan.html>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

32. Statistical office of the European Union, Eurostat, Data Browser, Aug. 1, 2022. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/recent?display=list&sortingOption=Both&filterOption=none>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

33. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Stepping up Europe’s 2030 climate ambition / Investing in a climate-neutral fu-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ture for the benefit of our people, COM/2020/562 final, Sep. 17, 2020. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/uri=CELEX:52020DC0562>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

34. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Stepping up Europe's 2030 climate ambition / Impact Assessment, SWD(2020) 176 final, Sep. 17, 2020. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020SC0176>. [Accessed: Aug. 10, 2022].

35. Statistical office of the European Union, Eurostat, Energy intensity, Apr. 14, 2022. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy>. [Accessed: Aug. 10, 2022]

36. Earth.Org Ltd., “What Countries Have A Carbon Tax?”, Sep. 10, 2021. [Online]. Available: <https://earth.org/what-countries-have-a-carbon-tax/>. [Accessed: Aug. 10, 2022]

*Представлено Институтом энергетики
Национальной академии наук Беларуси*

УДК 620.9621.311

ТЕКУЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ КАЗАХСТАНА

Б.К. Алияров, М.Б. Алиярова, А.А. Кибарин

Мақолада Қозғоғистон энергетика соҳасининг сўнгги йиллардаги ҳолати муҳокама қилинган. Таъкидланишича, умуман олганда, Қозғоғистон энергетика тармоғи глобал тенденцияларга мувофиқ ривожланмоқда. Қозғоғистон энергетика тармоғидаги мавжуд муаммолар келтирилган ва натижада ишлаб чиқариши қувватининг етишимаслиги ва яшил энергияни ривожлантириши муаммоларини бартараф этишининг мумкин бўлган усуллари таклиф қилинган. Яшил энергия соҳасида когенерация пайтида карбонат ангидрид чиқиндиларини уларнинг алоҳида ишлаб чиқарилишига нисбатан камайтиришини миқдорини аниқлаш усулини ишлаб чиқиши зарурияти таъкидланган. Муаллифлар, шунингдек, биргаликда ишлаб чиқаришида (когенерация) иккита маҳсулот ўртасида харажатларни тақсимлаш усулини таклиф қилишган. Мақолада, шунингдек, юқори кулли ва ўта юқори кулли кўмирларнинг ёнишини кўмир қазиб олишида қаттиқ чиқиндиларни ёнғинни йўқ қилиши усули сифатида ҳисоблаш мумкинлиги ва шунга мос равишда бу жараённи карбонат ангидрид газини чиқарувчи манбалар қаторидан чиқариб ташлаш мумкинлиги асосланган. Мақолада, шунингдек, энергиянинг деярли абадий муаммоларидан яна бири муҳокама қилинади. Масалан, тарифларни ҳисоблашда мавжуд ноаниқликни «юмиштириш» учун, уни ҳисоблашда истеъмолнинг башорат қилинаётган ҳажмидан фойдаланиши туфайли, ишлаб чиқарилган маҳсулот ҳажмига боғлиқ бўлмаган объектнинг тайёрлигини таъминлаш учун харажатларни ажратишига ўтиши таклиф этилади. Мақолада иссиқлик энергиясини ташини мисолдан фойдаланиб, нисбий йўқотишларнинг етарли эмаслиги кўрсатиб берилган (тарифни тасдиқлашда тартибга солувчи органлар томонидан қўлланилади) ва қувур тармоқлари юзасининг бирлигига камайтирилган йўқотиши қийматларидан фойдаланишининг юқори фойдалилиги исботланган.

В статье обсуждается состояние энергетики Казахстана в последние годы. Отмечается, что в общем случае энергетика Казахстана развивается в соответствии с мировой тенденцией. Приводятся проблемы энергетики Казахстана и предлагаются возможные пути преодоления возникшего дефицита генерирующей мощности и проблемы развития зеленой энергетики. В области зеленой энергетики отмечается необходимость разработки метода количественного определения уменьшения выбросов углекислого газа при когенерации, относительно их отдельного производства. Авторы также предлагают свой вариант разделения затрат между двумя продуктами при совместном производстве (когенерация). В статье также считается возможным рассматривать сжигание высокотемпературных и сверхвысокотемпературных углей в качестве огневой утилизации твердых отходов добычи угля и соответственно возможно исключить этот процесс из числа источников углекислого газа. В статье обсуждаются еще одна из, почти извечных, проблем

энергетики. Например, для «смягчения» существующей неточности при расчете тарифов, в связи с использованием при их расчете прогнозного объема потребления, предлагается переход на выделение затрат на обеспечение готовности объекта, которая не зависит от объема производимой продукции. В статье, на примере транспортирования тепловой энергии, показана недостаточная представительность относительных потерь (используемых регулирующими органами при утверждении тарифа) и доказывается более высокая представительность использования величин потерь, приведенных к единице поверхности трубных сетей.

In the article discusses the state of energy in Kazakhstan in recent years. It is noted that, in general, the energy sector of Kazakhstan is developing in accordance with the global trend. The problems of the energy sector of Kazakhstan are given, ways to overcome the emerging shortage of generating capacity and the problems of developing green energy are proposed. In the field of green energy, the need to develop a method for quantifying the reduction in carbon dioxide emissions in the case of the cogeneration, relative to their separate production, is being discussed. The authors also consider it possible to consider the combustion of high-ash and ultra-high-ash coals as a fire disposal of coal mining solid wastes and, accordingly, it is desirable to exclude this process from the number of carbon dioxide sources.

In the article discusses several, almost eternal, energy problems. In particular, in order to “mitigate” the existing inaccuracies in the calculation of tariffs, in connection with the use of the forecast volume of consumption in its calculation, it is proposed to switch to the allocation of costs for ensuring the readiness of the facility, which does not depend on the volume of production. The authors also offer their own option for dividing costs between two products in co-production. The article, using the example of thermal energy transportation, shows the insufficient representativeness of relative losses (used by regulatory authorities when approving the tariff) and proves a higher representativeness of the use of loss values reduced to a unit surface area of pipe networks.

Введение. Изначально следует отметить, что основное назначение энергетической отрасли – удовлетворение потребности населения и экономики в требуемом объеме требуемого вида энергии, обеспечивающее развитие своей страны с приемлемым воздействием на окружающую среду [1-7].

При наиболее общем рассмотрении, развитие электроэнергетики Казахстана происходит в соответствии с мировыми тенденциями – увеличивается общая и единичная установленная мощность, наблюдается переход на повышение напряжения на электрических сетях с малым объемом потребления и другие [8, 9]. Отличительной особенностью энергетики Казахстана можно считать повышенную долю генерации на основе сжигания угля (более 70% от общей генерации). Это в свою очередь служит «источником» проблемы, увеличения с выбросов углекислого газа.

Несомненным достижением электроэнергетики Казахстана следует считать развитость когенерации (до 40 процентов от установленной электрической мощности), при которой неизбежно возникает проблема отдельного установления стоимости каждой продукции, т.к. как правило

электричество и тепло имеют «своих» потребителей. К достижениям энергетики Казахстана можно отнести и освоение сжигания углей, которые в мире считаются некондиционными [9], с приемлемым уровнем воздействием на окружающую среду (например, улавливание летучей золы превышает 98 процентов, выбросы окислов серы менее 1500мг/м^3 , концентрация окислов азота относительно не очень высокое, (в основном, в связи с отсутствием котлов с жидким удалением шлака).

Обсуждение. Если рассматривать текущее состояние энергетики Казахстана, то можно отметить, что в этой отрасли в последние годы образовались проблемы, которые можно разделить на технические, экономические и связанные с выбросами углекислого газа.

Углекислый газ. Основные источники карбонных выбросов в мире традиционно разделяют на две группы: природные и антропогенные. К природным относятся вулканические извержения и лесные пожары. Казахстану, в этом отношении, можно сказать «повезло», при достаточно большой горной территории, практически не имеется источников вулканического извержения. Лесные пожары также имеют относительно малую долю, в связи с относительно малой площадью лесов на территории страны.

Анализ проблемы с выбросами углекислого газа показывает необходимость разработки представительного варианта определения доли Казахстана (также и для других стран Центральной Азии) в глобальном загрязнении атмосферы. Один из вариантов, развиваемый западными странами - не превышение уровня выбросов, имевшим место в 1990 году, (даже с дополнением с возможностью включения в этот уровень выбросов, не учтенных в том году по разным причинам), по крайней мере, по отношению к Казахстану, не выдерживает никакой критики. Например, при переходе к определению доли вклада страны в виде выбросов с единицы площади страны (известно, что глобальная атмосфера «привязана» к площади поверхности планеты Земля), Казахстан успешно переходит в разряд «благополучных» стран [3]. Дополнение этого подхода, с возможностью учета конкретной величины снижения выбросов углекислого газа при когенерации (относительно раздельного производства тепла и электричества) и с учетом сжигания высокозольного и сверхвысокозольного екибастузского угля, в качестве мероприятия по огневой утилизации твердых отходов добычи, Казахстан перейдет в группу лидеров. **Очень похоже, что оба предлагаемые подхода требуют длительного обсуждения в международных организациях.**

В этих условиях приемлемым и относительно быстрым и дешевым вариантом снижения выбросов углекислого газа может быть реализация нескольких административных решений: например - «принуждение» действующих крупных конденсационных ТЭС Казахстана (это тоже почти 40 процентов генерации электричества), к переходу на когенерационный режим, что в сочетании с возможным переходом на режим ПГУ, дополненное требованием об установке турбодетандеров [3]. В эту же группу можно включить и «принуждение» котельных на природном газе на установку газовых турбин, как бы «обратная» когенерация.

Конкретный уровень образования углекислого газа при сжигании органического топлива, как известно, однозначно определяется содержанием углерода в топливе, доля которого по весу меняется: от 75% для природного газа и до 40%, для екибастузского угля с зольностью 60%. В результате, при горении 1 кг природного газа (с содержанием углерода по весу в 75 процентов), образуется 2.75 кг углекислого газа [3]. Соответственно, при горении 1 кг екибастузского угля с зольностью 40 процентов, образуется «всего» 2,20 кг углекислого газа. Эти соотношения как бы показывают «преимущество» использования екибастузского угля, особенно с сверхвысокой зольностью, что несомненный нонсенс.

В связи с этой особенностью «образования» углекислого газа при сжигании конкретного топлива, в качестве более представительного показателя, можно использовать количество образующегося углекислого газа на 1000 ккал теплоты сгорания этого топлива (ккал в этом анализе используются в связи с «круглым» значением), которое можно называть «приведенной углекислотностью» (по аналогии с широко применяемой приведенной зольностью и с приведенным содержанием серы) [4]. В этом случае, например, при сжигании 1 кг природного газа с теплотой сгорания 8,200 ккал/кг, этот показатель, окажется равным 0.34кг углекислого газа. Для екибастузского угля с зольностью 40% и с теплотой сгорания 4.200 ккал/кг (наиболее широко используемого на ТЭС Казахстана) эта величина будет равна 0,52 кг, что примерно в 1,5 раза больше. Эта, более представительная «разница», демонстрирует предпочтительность определения степени «углекислотной грязности» разных топлив в приведенных величинах и может обосновывать или отвергнуть переход на сжигание природного газа (вместо екибастузского угля) на ТЭС. Утилизация, так называемой скрытой теплоты паров воды, образующихся в большом количестве (из – за которых теплота сгорания природного газа снижается от «расчетной» величины примерно 14 тысяч ккал до 8,2 тысяч по факту) при сжигании природного газа - один из возможных вариантов снижения его приведенной «углекислотности».

Суммируя пречисленные обсуждения, мероприятиями по снижению объема выбросов углекислого газа в Казахстане могут быть:

- развитие перевода ТЭС, сжигающих природный газ в режим с ПГУ, особенно с дополнением этого режима установкой турбодетандеров (реализована в Узбекистане – на Сырдарьинской ГРЭС, в России - на двух Московских ТЭЦ) – возможное снижение выбросов углекислого газа на несколько десятков млн. тонн в год;

- развитие перевода котельных, сжигающих природный газ (в заметном объеме) на режим с так называемой «обратной» генерации, при котором на котельных устанавливаются газовые турбины, этот перевод вполне может сопровождаться и установкой малых турбодетандеров – возможное снижение объема парниковых газов может составить несколько млн. тонн в год;

- перевод остальных конденсационных ТЭС в режим когенерации – возможное снижение выбросов углекислого газа несколько млн. тонн в год;

- максимальное развитие использования возобновляемой энергии, преимущественно в виде малой, мини и даже микроГЭС - возможное снижение выбросов углекислого газа на уровне нескольких сотен тысяч тонн в год.

В связи с особой значимостью **возобновляемой энергии** [2,17,18,39] это вид энергии, использование которого – один из бесспорных путей снижения карбонизации атмосферы при производстве электрической энергии. В связи с этим в Казахстане больше внимания уделяется поискам путей увеличения полноты преобразования возобновляемой энергии по приемлемой стоимости.

С другой стороны, также известно, что один из показателей ухудшающих привлекательность возобновляемой энергии – малое число часов доступности, что влечет за собой необходимость создания различного рода накопителей – для электрической (очень дорогих), для тепловой – (относительно дешевых) энергии. Сочетание этих двух факторов вполне могут быть своего рода тестами для выбора вида энергии, генерируемой из возобновляемых источников [3]. Если применить этот тест, в частности к преобразованию солнечной энергии [17-19], то относительно просто выясняется, что наиболее привлекательной технологией преобразования солнечной энергии в другой вид энергии, становится получение нагретой воды. В этом случае достигается два выигрыша. Во – первых, получается достаточно высокая полнота преобразования солнечной энергии в тепловую, во – вторых, аккумуляция произведенной тепловой энергии обеспечивается относительно простыми устройствами, в том числе и самим нагреваемым объемом воды. Этот же тест достаточно убедительно показывает технологическую сложность и почти экономическую неприемлемость преобразования солнечной энергии в электрическую энергию. В результате такого анализа становится понятным соотношение генерации электрической и тепловой энергии при использовании солнечной энергии, сложившегося в США – более 95 процентов объема использования этой энергии относится к получению тепловой энергии. В Казахстане наблюдается обратное соотношение при использовании солнечной энергии – для генерации электрической энергии (более 95 процентов) и менее 5 процентов – для получения нагретой воды.

В Казахстане под руководством академика Б.К. Алиярова и академика Н.С. Буктукова ведутся работы по созданию **ветровых агрегатов**, в виде набора комплекса турбин, способных работать при ветрах с различной скоростью вплоть до скорости 1 м/сек, что заметно расширит доступный объем ветровой энергии и увеличит полноту преобразования.

Привлекательность **«малой» гидравлической энергии** заключается в относительно меньшем колебании доступной производительности в рассматриваемом году (зима – лето при практически неизменности напора. Опыт эксплуатации малых ГЭС с оборудованием, рассчитанным на средний или малый годовой сток реки показал, что это приводит к сбросу части повышенного стока на уровне 2500-3000 часов в год. При этих условиях может быть вполне оправданным, чтобы на малых и микроГЭС устанавливать оборудование, рассчитанное на максимальный сток рек.

Этот краткий анализ показывает, что Казахстан принимает заметное участие в снижении глобального загрязнения выбросами углекислого газа, через не совсем привычные, технические, технологические и административные решения.

Технические и технологические проблемы электроэнергетики Казахстана. Первая проблема – образовавшийся и развивающийся **дефицит**

генерирующей электрической мощности в Казахстане, по некоторым данным, на уровне 1 тысячи мВт в 2022 году. Этот дефицит обусловлен многолетним отсутствием ввода новых объектов с заметной мощностью – последним был введен второй блок на ЭГРЭС – 2 в, далеких теперь, 1992-1993 годах [16]. Мойнакская ГЭС, введенная относительно недавно, при заметной установленной мощности (свыше 300 мВт), не очень «участвует» в общем снабжении электричеством в Казахстане – покрывает только вечернее «пиковое» потребление г.Алматы (специфика эксплуатации этой ГЭС, обусловленная особенностью накапливаемой гидравлической энергии). Введенные в последние годы солнечные, ветровые и малые гидравлические станции не оказали заметного влияния на общий объем генерации электрической энергии – их суммарная мощность менее 1 процента от установленной электрической мощности в Казахстане.

Технический и экономический анализ показывает, что дополнение двух действующих блоков ЭГРЭС -2 еще двумя аналогичными блоками, исключит этот дефицит. При этом завершение строительства ЭГРЭС – 2 с 8 блоками исключит возможный дефицит электрической мощности на ближайшие два десятка лет. Строительство на площадке ЭГРЭС -3 (совмещенной с ЭГРЭС -2) угольных или атомных ТЭС сделает Казахстан одним из активных участников поставки электрической энергии на мировой рынок.

Еще одна проблема, которую можно считать «неизлечимой болезнью» Казахстанской электроэнергетики – это **недостаточность регулирующей мощности** [38]. Предполагаемый ввод угольных блоков на второй екибастузской станции и возможное строительство АЭС на той же площадке [6,16], еще более обострит эту проблему. В нашей части азиатского материка можно встретить практически оба предельных случая – очень малая доля регулирующей мощности (Казахстан) и очень большая доля регулирующей мощности (Кыргызстан и Таджикистан) [13,14]. Уровень недостаточности регулирующей мощности в Казахстане дополнительно «усугубляет» развитость когенерации [6,8,24] – на уровне 40 процентов от установленной мощности. В Казахстане, под руководством академика Б.К. Алиярова, проходит экспериментальная проверка возможности использования ГЭС с водохранилищами (в том числе на межгосударственном уровне) в качестве регулирующей мощности - «потребителя» избыточной электрической мощности при «провале» потребления и возможным источником генерации при «пике» потребления [24].

На основных угольных ТЭС с котлами большой единичной мощности всегда присутствует проблема пуска котла после остановки – так называемая **растопка** из холодного состояния, которая традиционно осуществляется путем сжигания мазута, который энергетики воспринимали как должное. С другой стороны, сжигание мазута на ТЭС, на которой в громадных объемах присутствует энергия топлива и производимая электрическая энергия - это несомненный нонсенс. Только в 1979 году в США впервые была опробована схема, называемая «растопкой с применением плазмотронов» с исключением использования мазута [12]. Однако в схеме с, использованной в США, плазменной обработке подвергался весь поток топлива, с большим расходом электрической энергии (до 6%), что в значительной степени ограничивало

расширение применения этой технологии. В этом направлении в Казахстане создана и доведена до уровня коммерческой реализации система этой плазменной растопки, с затратами электрической энергии на уровне 1-2 процентов [7], что в несколько раз меньше значения наблюдавшегося в варианте США, что несомненно относится к достижениям тепловой энергетики Казахстана. В результате, только Китайская компания Yantai Longyuan Power Technology Co. Ltd., оснастила плазмотронами более чем 800 пылеугольных котлов, единичная мощность которых варьируется от 150 до 1000 мВт [12]. В последующем, разработанная технология была реализована на многих ТЭС России, Украины, Кореи, Словакии, Сербии и Монголии. Можно с удивлением отметить, что при этом, в Казахстане не имеется ни одного котла, полностью оснащенного плазменной системой растопки котла из холодного состояния.

Анализ показал, что для растопки котлов без использования мазута также можно использовать газообразные вещества, извлекаемые из угля при его нагреве, называемые горючими летучими веществами [23]. Достоинством использования горючих летучих угля в качестве растопочного топлива можно считать его доступность на любой угольной станции. Недостатками этой технологии могут быть необходимость создания специального устройства для извлечения летучих, сложности при их извлечении, и общим, для всех газообразных веществ, недостатком – необходимостью создания специальных хранилищ с заметными объемами. Однако повсеместная доступность и относительная дешевизна этого растопочного топлива перекрывают эти недостатки. В настоящее время в Казахстане проводятся научно – исследовательские и опытно - конструкторские работы по освоению этого, весьма перспективного метода растопки котла.

Этот краткий анализ показал, что имеются несколько способов «вытеснения» мазута из топливного баланса пылеугольных ТЭС с различной степенью готовности.

Охрана окружающей среды [1,5,22,30-35]. В области охраны окружающей среды, желательно, по крайней мере для развивающихся стран, к которым, несомненно относится Казахстан (и возможно другие страны этого региона), переходить на принцип «сохранять природу не разоряя свою экономику» [6]. Например, экспертное определение, приемлемого по этому принципу уровня улавливания летучей золы, показало что этот, очень даже не дешевый уровень, находится вблизи 98 процентов [29]. В связи с этим принципом, в Казахстане разрабатывается вариант сочетания слоевого и факельного сжигания угля [3]. Известно, что при сжигании угля в слое, количество летучей золы, выносимой из топочного объема, заметно меньше, т.к. летучая зола образуется только штыбовыми частицами слоя [4]. При достигнутых уровнях улавливания золы - при «мокром» методе (в трубах Вентури со скрубберами или в эмульгаторах) [5, 22, 27, 35, 36], или при «сухом» улавливании в многопольных электрических осадителях, в этом случае будет наблюдаться многократное уменьшение их концентрации в очищенных дымовых газах [5]. Специализированные исследования экологических показателей при сжигании углей в слое с широким варьированием многими

параметрами сжигания в слое, развиваются в АУЭС имени Гумарбека Даукеева под руководством академика Б.К. Алиярова.

Значительное снижение уровня образования окислов азота при факельном сжигании угля возможно при реализации технологии, предложенной профессором Д.Ж.Темирбаевым из АУЭС имени Гумарбека Даукеева.

Снижение уровня образования окислов серы при слоевом сжигании возможно внесением определенного количества известняка в слой [4]. Еще одним возможным вариантом снижения выбросов окислов серы (при обоих технологиях сжигания угля), становится использование сточных (продувочных) вод ТЭС, (предложенное к.т.н. С.А. Глазирным из ЕНУ имени Л.А. Гумилева) для связывания окислов серы из дымовых газов [3] а эффективностью от минимального - 40 процентов до максимального - 80 процентов, что, с учетом малого содержания серы в большинстве казахстанских углей, позволит снизить выбросы окислов серы до приемлемого уровня. Вполне можно предположить, что эти сточные и продувочные воды могут частично связывать и окислы азота.

Эти перечисленные технологии снижения выбросов в атмосферу вполне приводят их уровни к приемлемым величинам.

Экономические проблемы электроэнергетики Казахстана. Тарифы. При производстве многих видов продукции или услуг основой успешности деятельности предприятия является их стоимость, определяемая на основе соотношения спроса и предложения в конкурентной среде. Однако, почти для всех видов продукции или услуг энергетики, в связи с монопольностью их деятельности, стоимость продукции (услуг) устанавливается регулирующим органом в виде так называемых тарифов [6]. Широко используемая в Казахстане (и во многих странах мира) система расчета тарифа основана на учете **всех затрат** энергетического объекта (что несомненно справедливо) с последующим их делением на **предполагаемый** объем потребления [25], (что изначально предполагает определенную неточность в расчете тарифа). Формула для расчета тарифа при таком подходе может быть следующей: $T = \sum Z_i / V_{пр}$, где: T – расчетный тариф, Z_i – виды включаемых затрат, $V_{пр}$ – предполагаемый объем продукции и/или услуги на период утверждения тарифа.

Однако очевидно, что затраты энергетического объекта, по своей сути, включают в себя два, заметно различающиеся, вида расходов. Расходы, связанные с содержанием оборудования в состоянии, пригодном к эксплуатации, которые можно назвать затратами **«на обеспечение готовности»** объекта к производству энергии и/или к оказанию услуги. С другой стороны, в затратах объекта, несомненно присутствуют расходы, определяемые объемом производства продукции, или услуги (топливо, вода и другие), которые можно назвать **текущими** затратами. При применении этих двух видов затрат по их назначению, тариф может формироваться из двух составляющих $T_{об} = T_{гт} + T_{тз}$. Одна часть тарифа $T_{гт}$ – отражает долю затрат на обеспечение готовности объекта (не зависит от объема производства или услуги), другая часть $T_{тз}$ – отражает долю затрат, непосредственно связанных с объемом производства.

Определение части тарифа, (связанной с объемом производства) производится по прежней схеме – путем деления суммы этих затрат на предполагаемый объем сбыта.

Определение части тарифа, связанной с **готовностью объекта** к производству представляет собой более сложную задачу и может быть выполнено в следующей последовательности: сначала - деление этой части затрат на число часов в году (это условие этой части) и на число потребителей рассматриваемого объекта (это общепринято). Затем вводится понятие «корректирующего коэффициента», который учитывает различие в объемах потребления. Этот коэффициент, в свою очередь, может быть определен в виде отношения объема, потребленного конкретным потребителем к среднему объему потребления продукции или услуги конкретного энергетического объекта. Средний объем потребления одним потребителем определяется делением всего потребленного объема продукции или услуги на общее число потребителей (независимо от объема потребления).

Достоинством предлагаемого подхода можно считать частичное исключение прогнозного объема потребления (который, как правило, определяется с недостаточной точностью) из расчета тарифа и вполне может быть названа абонентской платой. По своему смыслу, эта абонентская плата «помогает» обеим сторонам: поставщику при снижении потребления, т.к. общая сумма оплаты за продукцию будет снижаться на величину, меньшую чем снижение объема потребления, при росте потребления «поддерживает» потребителя – оплачиваемая им сумма будет возрастать на величину, меньшую роста объема потребления.

Однако, простой анализ показывает, что соотношение «постоянной» (готовность объекта) и «переменной» (затраты на производство конкретного объема продукции или услуги) частей тарифа может, в зависимости от вида транспортируемой энергии, изменяться в очень широких пределах. Например, в случае доставки природного газа текущие затраты будут значительно больше затрат на обеспечение готовности. В случае доставки холодной воды будет наблюдаться обратная картина - затраты на обеспечение готовности окажутся несопоставимо больше текущих затрат, вплоть до уровня не применимости. Тем не менее, выделение затрат на обеспечение готовности упрощает финансирование этих работ для рассматриваемого объекта.

Когенерация. Еще одна «вечная» проблема, характерная для ТЭС с когенерацией (доля которых в электроэнергетике Казахстана достигает 40 процентов) - это раздельное определение стоимостей электрической и тепловой энергий [24, 32]. К этой давно известной проблеме в последние годы «добавляется» и проблема оценки уровня снижения объема углекислого газа, образующегося при когенерации.

Многочисленные исследования показали, что технологически обоснованных методов разнесения затрат по двум видам энергии, производимой совместно, практически не существует [44]. В настоящее время широко используется так называемый «физический» метод разнесения затрат (хотя там не имеется никакой физики), при котором, образующаяся при когенерации, «экономия» топлива «относится» целиком на электрическую энергию [24,42,44]. Это приводит к искажению физической сути процесса производства электрической энергии при которой повышение параметров пара способствует снижению удельных затрат на производство электрической энергии. При

физическом методе разнесения затрат удельный расход топлива на производство одного кВт часа на ТЭС с когенерацией (как правило, с меньшими параметрами пара), окажутся меньше, чем на конденсационной ТЭС с более высокими параметрами пара. Имеется еще один, не очень очевидный аргумент, к отмене использования «физического» метода разнесения затрат между электричеством и теплом при когенерации. Как известно, учет и регулирование потребления электрической энергии находится на очень высоком уровне - у всех потребителей имеются счетчики и выключатели (регуляторы потребления). Учет и регулирование потребления тепловой энергии, особенно используемой для отопления, налажен очень плохо. Законы рынка требуют, чтобы вид энергии с «плохими» учетом и регулированием был дешевле. Это особенно выгодно для потребителя (т.к. плохо учитываемый продукт, с плохой возможностью регулирования объема потребления), становится дешевле и в определенной мере это полезно и для поставщика (т.к. хорошо учитываемый продукт становится дороже).

В связи с этим, возможно применение метода расчета тарифа, суть которого сводится к тому, что **стоимость (связанная с текущими затратами)** производства обоих видов энергии определяется на основе сравнительных данных на объектах, производящих только один вид энергии – тепло (на котельной) или электричество (на конденсационной станции).

Для затрат на обеспечение **готовности объекта** на ТЭС, работающей в режиме когенерации, можно рассмотреть несколько вариантов их разнесения между двумя продуктами. Первый из них - разделить эти затраты в равных величинах между двумя продуктами объекта (в сопоставимых энергетических единицах для обоих видов энергии). Однако, при этом варианте возможно некоторое завышение этой части в стоимости тепловой энергии т.к. в наиболее общем случае, для производства нагретой воды нет необходимости использования котла с такими высокими параметрами пара, системы конденсации использованного пара обратно в воду и другие. При варианте разнесения затрат пропорционально отпущенным объемам (определяемым по многолетней средней величине) может «пострадать» электрическая энергия т.к. очевидно, что электрической энергии (при учете в единых энергетических величинах) из ТЭЦ отпускается заметно больше, чем тепловой энергии. Еще одним вариантом разнесения затрат на обеспечение готовности объекта может быть «волевой» метод, при котором затраты на обеспечение готовности для тепловой энергии принимается равной величине на котельной для производства нагретой воды. По всей вероятности, все рассмотренные варианты могут оказаться достаточно близкими по рассчитанной величине. Однако, численное сравнение этих вариантов выходит за пределы предлагаемой статьи.

По крайней мере в Казахстане, стоимость энергии, теряемой при транспортировании «входит» в число затрат, включаемых в расчет тарифа.

Потери [21,25]. Известно, что наиболее эффективный способ снижения карбонизации - это сжигание потерь произведенной энергии при транспортировании. По экспертным оценкам, каждый кВт электрической энергии, сохраненный за счет снижения потерь энергии при транспортировании, снижает генерацию углекислого газа на источнике сжигающем органическое топливо - на уровне 5 кВт. В связи с этим в Казахстане выполняется комплекс

работ по разработке методики представительного вида этих потерь при транспортировании различных видов первичной или преобразованной энергии.

В наиболее общем случае потери могут быть представлены в трех известных видах. **Абсолютные потери**, которые представляют собой количество продукции, теряемой на всем пути доставки продукции до конечного потребителя, и которые будут иметь размерность, совпадающую с размерностью рассматриваемой продукции или услуги и представляют собой физически понятную величину. Однако очевидна их недостаточная применимость для оценки эффективности транспортирования в различающихся условиях.

В настоящее время регулирующими органами, энергетическая эффективность транспортирования оценивается в виде так называемых **относительных потерь**, которые представляют собой отношение теряемого объема энергии (**абсолютные потери**) к доставляемому объему, что достаточно спорно. В частности, именно такое определение относительных потерь в годы экономического кризиса, (при котором произошло почти двухкратное снижение объема потребления, например, электрической энергии), создало ошибочное мнение о резком росте хищений.

В связи с такой недостаточной представительностью абсолютных и/или относительных потерь при сравнении эффективности транспортирования конкретного вида энергии, в Казахстане выполняется комплекс работ по разработке методики установления более представительного вида оценки уровня потерь при транспортировании различных видов первичной или преобразованной энергии.

Заключение. В заключение можно повторить, что энергетика Казахстана развивается по тенденциям, весьма близким к мировым (увеличение единичной мощности агрегатов и самих объектов, снижение выбросов в атмосферу и другие), однако имеются некоторые проблемы специфические для Казахстана. Первая из них - **дефицит электрической мощности**, наиболее приемлемый путь преодоления которой, это дополнение мощности ЕГРЭС- 2, по крайней мере еще двумя блоками. Более «выгодный» вариант - это построение ЕГРЭС -2 с 8 блоками (так предусматривалось проектом этой станции). Стремительный рост стоимости природного газа на внешних рынках создает ситуацию, при которой строительство АЭС [50]. на площадке угольной ЕГРЭС- 3, с установленной мощностью в 1 или 2 тысячи мВт может быть вполне конкурентным с газовым ТЭС.

Вторая проблема - **недостаточность регулирующей мощности**, для Казахстана, может быть решена в большей степени сотрудничеством с соседними странами, имеющими большие регулировочные электрические мощности.

Большая территория Казахстана в сочетании с малой плотностью населения приводит к повышенным потерям при транспортировании энергии, которые могут быть снижены развитием децентрализованного снабжения электрической энергией.

Проблему снижения доли Казахстан в **глобальном загрязнении углекислым газом** желательно решать в нескольких направлениях. Первое – это согласование с международным сообществом правил определения этой доли

конкретной страны в виде выбросов с единицы территории, второе – определение и согласование величины снижения выбросов углекислого газа при когенерации. Техническими решениями, которые могут способствовать снижению объемов выбросов парниковых газов, могут быть : - «принуждение» станций, сжигающих природный газ к переходу в режим ПГУ (даже в трехтурбинный режим, - «принуждение» котельных, сжигающих природный газ, на совместное производство электрической энергии, максимально реализовывать свои возможности по развитию строительства малых, мини и микроГЭС и по установке турбодетандеров на газовых сетях.

Литература

1. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Ленинград, Недра, 1988.
2. Ион. Д.С. Мировые энергетические ресурсы. Москва, Недра. 1984, 168 с.
3. Алияров Б.К. Кнорре Г.Ф. Топочные процессы (краткий курс) Алматы, Альманах. 2022, 356с.
4. Кнорре Г.Ф. Топочные процессы. М-Л, Госэнергоиздат, 1951, 285 с.
5. Палатник И.Б. Пылеуловители с трубами – коагуляторами Вентури (основы теории и методы расчета), Алма-Ата, Наука, 1981, 316 с.
6. Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Основы и пути повышения энергетической безопасности страны. Алматы, Альманах, 2021, 399 с.
7. Алияров Б.К., и другие. Технологии безмазутной растопки котлов и стабилизации воспламенения пылеугольного факела на ТЭС Пленарный доклад на 7 международной конференции по плазме и горению, Алматы, 2019.
8. Чокин Ш.Ч., Сартаев Т.С., Шкрет А.Ф. Энергетика и электрификация Казахстана т.1, Алма – Ата, Наука, 1985, 323 с.
9. Алияров А.Б., и другие. Снабжение тепловой энергией в Казахстане (особенности, опыт, проблемы). Алматы, LEM, 2016, 502 с.
10. Суюмбаева Г.К. Социально –экономическая география Казахстана в таблицах и схемах. Справочное пособие, Алматы 2005, 219 с.
11. Надиров Н.К. Нефть и газ Казахстана, наука 1995 458 с.
12. Карпенко Е.И., Карпенко Ю.Е., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Использование плазменно – топливных систем на пылеугольных ТЭС Евразии. Теплоэнергетика, №6, 2009.
13. Аллаев К.Р. Электроэнергетика мира и Узбекистана. Ташкент. Fan va texnologiya, 2009, 464с.
14. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Ташкент Молия 2007, 388с.
15. 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, 304с.
16. Дукенбаев К.Д. «Энергетика Казахстана», Условия и механизмы ее устойчивого развития, Алматы, Наука, 2004, 602 с.
17. S.A. Kalogirou, Solar Energy Engineering. Elsevier, 2009, p. 850.
18. Дукенбаев К.Д. Возобновляемая энергия, Алматы, Гылым, 2014, 386с.

19. B. Sorensen, Renewable energy. Physics, engineering, environmental impacts, economics and planning. Elsevier, 2017, p. 1030.
20. Went I.O.L. Fundamental coal combustion mechanism and pollutant formation in furnace. Progress of energy Combustion science 1980, Vol. 6.
21. Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Уголь (разведка, добыча, сжигание, экология). Алматы, Альманах 2021, 225с.
22. Жакупов Г.А. Повышение экологичности тепловых электрических станций, Алматы, 2009, 285с
23. Алияров Б.К., Мергалимова А.К. Способ безмазутной растопки котлоагрегатов. Патент №2450, 2017
24. Алияров Б.К., Карпов П.Д. Упрощенная методика разделения затрат между тепловой и электрической энергией при их совместенгом производстве. Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. 2001, № 3.
25. Алияров Б. К., Ерекеев О.К., Трофимов Г.Г. Методика сопоставления нормативных потерь тепла в различающихся сетях у различных поставщиков. Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. 2001, № 4.
26. Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Сжигание Казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных. Алматы, Гылым, 2012, 306 с.
27. Алияров Б.К., Алиярова М.Б., Палатник И.Б., Хмыров В.И. О «технологических» нормативах и регулировании объема выбросов в атмосферу от ТЭС. Энергетика и топливные ресурсы №11, 2003.
28. Алияров Б.К., Когай Г.Н. и другие. Способ очистки дымовых газов тепловых электростанций. Предварительный патент №2006/0979.
29. Алиярова М.Б. Определение экономически приемлемого уровня очистки дымовых газов. Электрические станции №4 2012.
30. Бабий В.И. и другие. Влияние предварительного подогрева угольной пыли на выход «топливных» окислов азота. Теплоэнергетика 1983, №9.
31. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергетических объектов. Справочник, Москва, Энергоатомиздат, 1992, 318 с.
32. Громов Н.К. Совместная работа ТЭС по теплоснабжению потребителей. Вопросы эксплуатации тепловых сетей Москва, Госэнергоиздат, 1954, 402с.
33. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк – Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. Москва, Изд. АН СССР, 1947.
34. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах, Москва, Энергоатомиздат, 1987, 185 с.
35. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейна от выбросов тепловых электрических станций. Москва, Энергоатомиздат, 1981, 458с.
36. Справочник по пыли – и золоулавливанию Москва, Энергоатомиздат, 512 с.
37. Тепловые и атомные станции. Справочник. Москва, Энергия, 1982, 612с.
38. Нефтянная энциклопедия Казахстана Алматы, наука 2005, 386 с.
39. Global Wind Report | Global Wind Energy Council 2021.

40.Карпенко Е.И., Карпенко Ю.Е., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Использование плазменно – топливных систем на пылеугольных ТЭС Евразии. Теплоэнергетика 2009, №6.

41.M. Khoukhi and S. Maruyama “Theoretical approach of a flat-plate solar collector taking into account the absorption and emission within glass cover layer”, Solar Energy, vol. 80, no. 7, pp. 787–794, 2006.

42.Бабий В.И., Котлер В.Р. и другие. Исследование механизма образования топливных окислов азота и некоторых методов их снижения в кн. Актуальные вопросы сжигания энергетических углей. Москва труды ЭНИИ 1980.

43.Rees D.P., Smott L.D., Hedman P.O. Nitrogen oxide formation inside a laboratory pulverized coal combustor. 18 symposium (Intern) on Combustion 1981.

44.Рыжкин И.Я. Тепловые электрические станции Москва, Энергия, 1976.

*Представлено Алматинским университетом
энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева*

УДК 620.9; 621.9:328; 762.52; 334; 378

ЭНЕРГЕТИКА, КАК УПРАВЛЯЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА: ТРАНСФОРМАЦИЯ И РИСКИ

М.В.Кремков, М.В.Воронов

O'zbekiston energetikasini rivojlantirish va transformatsiyasining dolzarb muammolari tarmoqlangan ko'p funktsiyali tuzilishga ega ko'p komponentli boshqariladigan tashkiliy ishlab chiqarish tizimi sifatida ko'rib chiqildi. Biz taklif qilgan energetikani rivojlantirishning takomillashtirilgan integral modeli – “D-Konsepsiya” asosida O'zbekiston energetikasining holati va transformatsiyasi tahlili o'tkazildi. Ushbu model energetika rivojlanishini belgilovchi 8 ta asosiy omilni o'z ichiga oladi: Markazsizlashtirish, Dekarbonizatsiya, Raqamlashtirish, energiya manbalarini etkazib berish va taqsimlash va boshqalar, shu jumladan, 3 omil diversifikatsiyasi, -qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanadigan energiya manbalarining turlari va tegishli issiqlik va muqobil elektr stantsiyalari (energiya manbalari diversifikatsiyasi); O'zbekiston hududida elektr stantsiyalari taqsimoti (hududlar diversifikatsiyasi) va-ishtirok etayotgan xorijiy investorlarni mamlakatlar va energetika kompaniyalari bo'yicha farqlash (investorlar diversifikatsiyasi). Shunga muvofiq, O'zbekiston energetikasini 5 turdagi elektr stantsiyalari (issiqlik, gidro, quyosh, shamol va atom) bilan transformatsiyalashda boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun asos bo'lishi kerak bo'lgan asosiy tamoillar belgilanadi. Barcha turdagi elektr stantsiyalar uchun umumiy bo'lganidek, har xil elektr stantsiyalari uchun xavflarning tashqi va ichki manbalari, hamda issiqlik va qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi elektr stantsiyalari bilan bog'liq xavflarning tahlili o'tkazildi. Har xil turdagi 16 ta yangi elektr stantsiyalarini, jumladan: - umumiy quvvati 4,0 GW bo'lgan 6 ta issiqlik elektr stantsiyasi; - umumiy quvvatli 1,2 GW 5 ta quyosh va umumiy quvvati 3,0 GW dan yuqori bo'lgan 5 ta shamol elektr stantsiyalarini yaratish bo'yicha investitsion loyihalarining amalga oshirish hisobiga O'zbekiston elektr stantsiyalarining tegishli quvvatlari nisbati o'zgarish dinamikasi 2030-yilga borib 70% (issiqlik) va 30% (qayta tiklanadigan) sifatida ko'rsatilgan. Quvvati 2,4 GW bo'lgan atom elektr stantsiyasi ham shular jumlasidan. Bu energiya tizimining umumiy quvvati va samaradorligini oshiradi, shuningdek, O'zbekistonning energiya xavfsizligini ta'minlaydi.

Рассмотрены актуальные проблемы развития и трансформации энергетики Узбекистана, как многокомпонентной управляемой организационной производственной системы с разветвленной многофункциональной структурой. Проведен анализ состояния и трансформации энергетики Узбекистана на основе предложенной нами усовершенствованной интегральной модели развития энергетики - «D – Концепция». Эта модель включает 8 основных факторов, определяющих развитие энергетики: Децентрализацию, Декарбонизацию, Цифровизацию, Доставку и распределение энергоресурсов и других, в том числе, Диверсификацию 3-х факторов, - разновидности энергоисточников и

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

соответствующих тепловых и альтернативных видов электростанций (ЭС), использующих возобновляемые источники энергии (Диверсификация энергоисточников); - распределение ЭС по территории Узбекистана (Диверсификация территорий) и – дифференциация участвующих иностранных инвесторов по странам и энергетическим компаниям (Диверсификация инвесторов). В соответствии с этим определены главные принципы, которые должны быть положены в основу принятия управленческих решений при трансформации энергетики Узбекистана с 5-ю типами ЭС (Тепловые, Гидро, Солнечные, Ветровые и Атомные). Проведен анализ внешних и внутренних источников рисков для различных ЭС, как общих для всех типов ЭС, так и рисков, относящихся к ЭС тепловым и на возобновляемых источниках энергии. Показана динамика изменения соотношения соответствующих мощностей ЭС Узбекистана, как 70% (Тепловые) и 30% (Возобновляемые) к 2030 году, за счет реализации инвестиционных проектов создания 16 новых ЭС различного типа, в том числе: - 6 Тепловых ЭС суммарной мощностью 4,0 ГВт; - 5 Солнечных ЭС мощностью 1,2 ГВт и 5 Ветровых ЭС мощностью свыше 3,0 ГВт. А также АЭС мощностью 2,4 ГВт. Это позволит повысить суммарную мощность и эффективность энергосистемы, а также обеспечить энергобезопасность Узбекистана.

The actual problems of development and transformation of the energy sector of Uzbekistan as a multicomponent managed organizational production system with an extensive multifunctional structure is considered. An analysis of the state and transformation of the Uzbekistan energy sector was carried out on the base of our proposed improved integral energy development model - "D-Concept". This model includes 8 main factors: Decentralization, Decarbonization, Digitization, Delivery and Distribution of energy resources, others, and among other things, the Diversification of 3 factors that determine the energy sector Development: - varieties of energy sources and corresponding thermal and alternative types of energy powers (EP) using renewable energy sources (Diversification of energy sources); - distribution of the EP throughout the Uzbekistan (Diversification of territories) and - differentiation of foreign investors by countries and energy companies (Diversification of investors). In accordance with this, the main principles that should be taken as the basis for making managerial decisions during the transformation of the energy sector of Uzbekistan with 5 types of EP (Thermal, Hydro, Solar, Wind and Nuclear) are determined. An analysis of external and internal sources of risks for various EP was carried out, highlighting the risks, both common to all types of EP, and risks related to thermal EP and EP on the renewable energy sources. It was shown the dynamics of changes in the ratio of the corresponding production capacities of the EP of Uzbekistan, as 70% (thermal) to 30% (renewable), by 2030, occurring due to creation of 16 new EP of various types, including: - 6 Thermal EP with a total capacity of 4.0 GW; - 5 Solar EP with a capacity of 1.2 GW and 5 Wind EP with a capacity of over 3.0 GW. As well as a nuclear power plant with a capacity of 2.4 GW. This will improve the total power, efficiency of the energy system and also ensure the energy security of Uzbekistan.

Введение. В настоящее время невозможно представить существование любого государства и социума без надежного энергетического обеспечения и, соответственно, без эффективного развития энергетики. Энергетика сегодняшнего дня каждой страны – это одна из крупнейших и ведущих базовых отраслей экономики, многокомпонентная, многопараметрическая организационная производственная система с разветвленной территориальной многофункциональной структурой. Соответственно этой сложной структуре должны проводиться развитие, модернизация и направленная трансформация энергетики путем осуществления реформирования энергетической системы на основе гибкого организационного управления с учетом возможных рисков на каждом из перечисленных выше направлений совершенствования энергетики. В связи с этим, целесообразно прежде всего конкретизировать сами понятия терминов «Энергетика», как важнейшей отраслевой экономической системы каждой страны, а также «Электроэнергетика» - как её непреложная составная часть.

Наиболее распространенным определением для понятийного термина «Энергетика», согласно [1], является следующее: «Энергетика — область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов». Полагаем, однако, что здесь более правильно записать – «область экономики», а не область хозяйственно-экономической деятельности. Кроме того, это определение не учитывает такую важную функцию энергетики, связанную с ее изначальной стадией, как получение/производство энергоресурсов. С этой точки зрения наиболее корректным будет определение, введенное в [2] для понятия «Электроэнергетика», являющейся важнейшей составляющей частью энергетики и непосредственно учитывающей эту стадию. А именно, «Электроэнергетика — отрасль энергетики, включающая в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии».

Различным аспектам, связанным с современным состоянием и перспективами развития энергетики мира, посвящен целый ряд монографий, тематических сборников, обзорных статей и диссертационных работ, результаты которых наиболее полным образом обобщены и систематизированы в монографии академика АН Узбекистана К.Р.Аллаева «Современная энергетика и перспективы ее развития» (Ташкент, 2021 г., 952 с.) [3]. В этой монографии, в том числе изучены и проанализированы особенности современного состояния, возможные сценарии и перспективы развития энергетики, а также актуальные вопросы энергообеспечения различных стран мира, регионов, отраслей и их крупных производств, в том числе на примерах России и Узбекистана. И что характерно, в разделе «Глоссарий современных терминов по энергетике» этой монографии даются наиболее научно обоснованные определения терминов «Энергетика» и «Электроэнергетика». Так, термин «Энергетика» на стр.917 монографии определяется, как «Энергетика - область народного хозяйства (полагаем, что более правильно записать – область экономики), науки и техники, охватывающая энергетические ресурсы, производство, передачу, преобразование, аккумулирование, распределение и потребление различных

видов энергии». А термин «Электроэнергетика» на стр.916 этой монографии, согласно ГОСТ 19431-84, определяется как: «Электроэнергетика – раздел энергетики, обеспечивающий электрификацию страны на основе рационального расширения производства и использования электрической энергии». Отметим, что в этом определении пропущена такая непреложная функция электроэнергетики, как передача электрической энергии.

С точки зрения современной экономики и теории менеджмента можно предложить для термина «Энергетика» также следующее определение: «Энергетика – многофункциональная организационная система производства, передачи и распределения электрической энергии, управляемая путем принятия руководящих решений с использованием сложившегося в стране и развиваемого законодательного, материально-технического, кадрового, финансового обеспечения, а также средств ИКТ и цифровых технологий».

Оставив решение вопроса о правомочности и обоснованности тех или формулировок определений этих важнейших понятий в сфере энергетики за источниковедами и методологами, перейдем к предметному изложению основ и направлений осуществляемой с учетом потенциально возможных рисков трансформации энергетики стран мира, в том числе на примере Узбекистана.

Результаты. Концепции трансформации и учета рисков в энергетике.

В монографии [3] показано, что важное значение в настоящее время имеют проблемы модернизации, цифровизации, моделирования, мониторинга, менеджмента национальных энергетических систем, территориальных энергокомплексов и крупных энергетических предприятий с условием минимизации энергетических потерь, обеспечения надежности энергоснабжения и эффективности энергопотребления. Отмечается, что распределение источников энергии и вырабатываемых энергоресурсов, а также их основных потребителей в различных регионах и по территориям стран мира отличаются сильной неравномерностью. Именно поэтому все более широко применяется подход так называемой «Локализованной энергетики», как управляемой организационной производственной системы того или иного экономического региона/территории или экономической отрасли, либо отдельной страны в целом.

Показано также, что современное развитие или трансформацию энергетики можно условно описать на основе так называемой Концепции «3D», включающей 3 основных положения: Digitalization (Цифровизация), Decentralization (Децентрализация) и Decarbonization (Декарбонизация), объединяющие главные направления трансформации мировой энергетики, которые в работе [3] предлагается дополнить также положениями об Интеллектуализации энергосистем, электрических сетей и Безопасной экологии.

В этом отношении важнейшее значение, как было показано нами ранее, приобретает принятие оптимальных управленческих решений на разных иерархических уровнях менеджмента организационных систем [4], в том числе энергетических систем с учетом возможных рисков [5]. Исходя из этого, полагаем бы необходимым дополнить данную Концепцию трансформации мировой/отечественной энергетики следующими пятью важными положениями направленных трансформационных действий, названия которых также начинаются с буквы “D”, в том числе:

Diversification (Диверсификация энергетических источников и территорий);
Delivery & Distribution (Доставка и распределение *энергоресурсов*),
Definition & Description (Определение и описание *проблем и рисков в энергетике*),
Decision (Принятия решений *управления в энергетике*),
Development (Развитие *энергетической системы*).

Таким образом, за счет введения этих пяти предлагаемых нами дополнительных положений, содержание Концепции «3D» в сфере трансформации энергетики будет существенно расширено и конкретизировано, в связи с чем данную Концепцию наиболее целесообразно было бы конкретизировать, считать интегральной и назвать применительно к развитию энергетики в целом как «D-Концепция» или «Development Conception». В настоящее время устойчивое социально-экономическое развитие Узбекистана определяется эффективностью модернизации производства на основе инноваций и управления отраслями экономики. «Энергетика», как было отмечено выше является важнейшей экономической отраслью каждой страны.

2. Основы законодательства и управления в энергетике.

Основные законы и директивные документы, принятые в сфере энергетики за период суверенитета Узбекистана до 2022 г. приведены нами в табл. 1. В соответствии с Указом Президента Республики Узбекистан № УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы» от 28 января 2022 г. [6] согласно п. 7 этого Указа были определены в том числе приоритетные задачи «по повышению до 2026 года на 20% энергоэффективности экономики и сокращению на 20% объема выброса вредных газов в атмосферу путем активного внедрения технологий "зеленой экономики" во все сферы».

С этой целью были даны соответствующие поручения трем уполномоченным министерствам Республики Узбекистан (Минэнерго, Минстрой и Минэкономразвития) по разработке во 2-м квартале 2022 г., принятию и последующей реализации в Узбекистане двух важных государственных программ: - «Расширения и поддержки использования возобновляемых источников энергии, а также повышения энергоэффективности социальных, коммерческих и административно-бытовых зданий и сооружений» и - «Перехода к "зеленой экономике" и обеспечения энергосбережения и повышению эффективности использования ресурсов».

Решение данных задач невозможно осуществить без последовательного формирования в Узбекистане эффективной системы управления трансформацией энергетической отрасли с активным переходом на «зеленую экономику» и строительством целого ряда новых крупных генерирующих солнечных и ветровых электростанций, с одной стороны, а также целевого управления оптимизацией энергопотребления и повышением энергоэффективности, наряду с промышленными, также социальных, коммерческих и административных объектов, с другой стороны.

Специальные управляющие решения и меры будут приняты также с целью обеспечения энергосбережения и перехода на мало энерго- и ресурсоемкие технологии промышленными отраслями и их подведомственными

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

предприятиями и организациями на всех уровнях. Несомненно, что важную роль в организации эффективного управления процессами трансформации и развития энергетики будут играть использование ИКТ, технологий искусственного интеллекта и цифровизации.

Таблица 1

Основные законы и директивные документы, принятые в сфере энергетики Узбекистана Basic laws and policy documents adopted in the energy sector of Uzbekistan

№	Номер и дата	Название документа	Основное назначение документа
1. Законы Республики Узбекистан			
1.	N 412-I от 25.04.1997 г.	Закон РУз «О рациональном использовании энергии»	Формирует правовые основы сохранения национальных энергоресурсов, эффективное использование энергии и производственного потенциала
2.	N ЗРУ-225 от 30.09.2009 г.	Закон РУз «Об электроэнергетике»	Определяет основные направления государственной политики и органы, осуществляющие государственное регулирование в сфере электроэнергетики
3.	N ЗРУ-539 от 21.05.2019 г.	Закон РУз «Об использовании возобновляемых источников энергии»	Определяет основные направления государственной политики и регулирует отношения в области использования возобновляемых источников энергии
4.	N ЗРУ-628 от 09.09.2019 г.	Закон РУз «Об использовании атомной энергии в мирных целях»	Определяет принципы и объекты использования, направления деятельности и госполитики, регулирует отношения в использовании атомной энергии
5.	N ЗРУ-565 от 14.07.2020 г.	Закон РУз «О внесении изменений и дополнений в Закон РУз "О рациональном использовании энергии"»	Внесены изменения в Закон №ЗРУ-412-1 в статьи: -10 (направления госполитики по использованию энергии); -11 (полномочия КабМина и госорганов) и - 12 (государственные, отраслевые и др. программы)
2. Указы и постановления Президента Республики Узбекистан			
1.	№УП-2812 от 22.02.2001 г.	Указ «Об углублении экономических реформ в энергетике Узбекистана»	Определяет приоритетные направления углубления экономических реформ в сфере энергетики и задачи по их реализации
2.	№УП-4512 от 01.03.2013 г.	Указ «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии»	Определяет развитие альтернативных источников энергии, использования результатов исследований, производства оборудования, технологий, и создание Международного института солнечной энергии.
3.	№УП-5484 от 19.07.2018 г.	Указ «О мерах по развитию атомной энергетики в Республике Узбекистан»	Создано Агентство по развитию атомной энергетики «Узатом» при КабМине Республики Узбекистан, определены его задачи и направления деятельности.
4.	№ УП-6198 от 01.04.2021 г.	Указ «О совершенствовании системы государственного управления в сфере развития научной и инновационной деятельности»	Приняты меры по развитию возобновляемой энергетики - создание инновационных технологий производства, хранения и применения "зеленого" водорода - альтернативного и экологически чистого источника энергии.
5.	№ УП- 60 от 28.01.2022 г.	Указ «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»	Приняты меры по внедрению технологий "зеленой экономики" и реализации госпрограмм: - расширение использования возобновляемых источников энергии; - переход к "зеленой экономике" и энергосбережению.
6.	№ПП-2559 от 13.07.2016 г.	Постановление «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики»	Приняты дополнительные меры по модернизации, техническому и технологическому перевооружению предприятий электроэнергетики, развитию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики Узбекистана.
7.	№ПП-4249 от 27.03.2019 г.	Постановление «О стратегии дальнейшего развития и реформирования электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан»	Приняты меры по совершенствованию системы управления электроэнергетической отраслью республики, предусматривающие оптимизацию производственных процессов, реорганизации АО "Узбекэнерго" и создании 3-х отраслевых АО.
8.	№ПП-5063 от 09.04.2021 г.	Постановление «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан»	Приняты меры по развитию возобновляемой и водородной энергетики, созданию Национального НИИ возобновляемых источников энергии с НИЦ водородной энергетики и Лаборатории испытаний; создана Межведомственная комиссия РУз по возобновляемой и водородной энергетике.

Научная обоснованность принятия управленческого решения, в том числе в сфере энергетики, требует системного подхода, и осуществляется в первую очередь, на основе экономической теории управления. Центральным понятием в этой теории является само управленческое решение, которое чаще всего подразумевает осуществляемый во времени логически обоснованный организационно-правовой процесс оптимального выбора альтернативы, реализуемый в условиях неопределенности [4].

Методология управления энергосистемой Узбекистана заключается в разработке и принятии управленческих решений, оптимальных по времени, материальным, финансовым затратам и кадровому обеспечению. Причем руководящие управленческие решения в сфере энергетики принимаются с целью получения наибольшего эффекта при минимальных рисковых потерях [4, 5].

Задача управления базовой энергетической отраслью Узбекистана является многофакторной вследствие наличия различных ее структурных составляющих (тепловые, гидравлические, солнечные и ветровые электростанции различной мощности, магистральные, районные и распределительные электросети, трансформаторные подстанции, организации энергонадзора, энергоконтроля, диспетчерского управления и др.). Управление всей этой сложной диверсифицированной и территориально распределенной энергетической системой является далеко непростой задачей и осуществляется разветвленной структурой государственных, отраслевых, региональных и производственных органов и организаций. В работе [5] нами было показано, что управлению в энергетической индустрии подлежат, как энергосистема в целом, так и названные выше составляющие, - генерирующие электростанции, - электрические сети с соответствующими предприятиями, - отраслевые научные и проектные институты, - производственные, вспомогательные и контролирующие организации и др.

Управленческие решения в сфере трансформации энергетики Узбекистана можно условно подразделить на внешние, которые принимают уполномоченные государственные, отраслевые и региональные органы управления, а также на внутренние, относящиеся к компетенции отраслевых менеджеров высшего уровня – руководители министерств, ведомств и энергетических АО, а также менеджеров предприятий и организаций энергетики.

Принятие управленческих решений с целью перспективного развития и трансформации энергетики Узбекистана должно основываться на следующих основных принципах:

- безусловная реализация положений законов Республики Узбекистан, указов, постановлений Президента Узбекистана и руководящих указаний директивных органов страны;
- определение сферы энергетики как одной из важнейших составляющих ТЭК страны;
- обеспечение энергетической независимости Республики Узбекистан;
- обеспечение энергобезопасности страны на среднесрочный и долгосрочный период [3, 7 - 9] в том числе на основе Концепции и перспективного плана развития энергетики Узбекистана с увеличением до 2-х

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

раз установленных энергетических мощностей в период до 2030 года по сравнению с 2018 - 2019 годами [10];

- учет диверсификации источников энергии, используемых на действующих электростанциях (газ, уголь, мазут, гидроресурсы, солнечная, ветровая и другие виды возобновляемых источников энергии);

- опережающее развитие возобновляемой/«зеленой» энергетики, в том числе солнечной, ветровой и др. [3, 9, 11];

Таблица 2.

Классификация рисков для традиционных углеводородных и альтернативных электростанций (ЭС)
Risk classification for traditional hydrocarbon and alternative power plants (PP)

I. Источники общих рисков, связанные с внешними причинами	
1. Влияние мировых финансово-экономических и структурных отраслевых кризисов	
2. Влияние состояния экономики и энергетической политики страны и региона	
3. Влияние несовершенства государственного законодательства в сфере ТЭК	
4. Влияние изменений климата и экологии	
5. Влияние непредвиденных форсмажорных ситуаций (пандемии, землетрясения, наводнения, войны и др.)	
6. Отказ или нарушение иностранными инвесторами принятых обязательств	
II. Источники общих внутренних рисков в производственной деятельности ЭС	
1. Влияние экономики и специфики энергетической политики отрасли	
2. Особенности правового, ресурсного и материально-технического обеспечения ЭС	
3. Аварийные ситуации на ЭС и в сети; трудности заблаговременного страхования от них объектов ЭС	
4. Влияние износа оборудования и агрегатов	
5. Несовершенство планирования и недоучет реального рынка сбыта электроэнергии	
6. Недоучет особенностей и специфики развития и трансформации производства ЭС	
7. Наличие/недостаток и уровень квалификации персонала ЭС	
8. Несовершенство и ошибки управленческих решений, принимаемых менеджерами ЭС	
9. Неполнота информационного обеспечения ЭС	
III. Источники специфических рисков в деятельности ЭС различного типа	
Углеводородные ЭС	ЭС возобновляемой энергетики
1. Истощение запасов углеводородов в стране	1. Нестабильность и локальность энергоносителя
2. Вынужденный отказ от типа энергоисточника	2. Большие площади отчуждения под ЭС
3. Загрязнение атмосферы выхлопными газами ТЭС	3. Разнообразие конструкций и их размеров
4. Удаленность энергоисточника от ТЭС	4. Влияние климата, пыли-влаги осадков
5. Спад объемов/отсутствие закупок топлива	5. Необходимость аккумуляции энергии
6. Сбой/нарушение срока поставок топлива	6. Необходимость частых профилактик

- широкое использование международного и отечественного опыта в модернизации энергетической отрасли со строительством солнечных, ветровых и атомной электростанций, ТЭС с парогазовыми и газопоршневыми генераторами и применение комбинированных электростанций с нетрадиционными источниками;

- развитие нормативно-правового обеспечения энергетической отрасли;

- осуществление политики энергосбережения и оптимизации энергопотребления в разрезе отраслей и производств республики;

- повсеместное повышение эффективности деятельности предприятий энергетики;

- развитие магистральных, районных и распределительных электросетей с повышением устойчивости и эффективности их работы, с учетом экспортных поставок;

- обеспечение учета, контроля и введения гибких тарифов на потребление энергии;

- подготовка и рациональное использование кадров для углеводородной, «зеленой» и атомной энергетики;
- создание с участием электростанций территориальных инновационных производственных кластерных структур [5, 12];
- заблаговременное выявление, систематизация и учет потенциально возможных рисков и принятие превентивных мер по противодействию рискам или управление рисками [4, 5, 13] в том числе в энергетической индустрии [4, 5, 14], особенно в разрезе планирования создания и строительства новых объектов энергетики, а также организации эффективной деятельности хозяйствующих субъектов энергетики [4, 5, 15].

С учетом проводимой трансформации энергетики следует заблаговременно проводить учет и оценку влияния потенциально возможных внешних и внутренних рисков, как имеющих общий характер для всех видов электростанций, так и специфичных для каждого их вида, которые классифицированы нами в табл. 2.

При принятии управляющих решений в энергетической отрасли Узбекистана важная роль принадлежит использованию результатов научно-технических разработок и перспективных планов развития этой отрасли. Несомненно, что перспективные планы принятия государственных решений для среднесрочного и долгосрочного развития энергетики республики должны быть скорректированы, исходя из современных реалий и потребностей использования новых источников энергии, а также эффективной диверсификации и получения оптимального с точки зрения перспективного планирования удельного веса различных энергоисточников в общем энергобалансе республики.

Обсуждение. В мировом производстве электроэнергии по состоянию на период 2019-2021 годы между источниками углеводородной энергетики (уголь, торф, природный газ, нефть, мазут) и возобновляемой энергетики (гидравлическая, ядерная, ветровая, солнечная, биотопливная, геотермальная и др.) согласно [16] (с небольшими поправками на 2021 г.), сложилось следующее соотношение, как 63% и 37%, соответственно. Причем в углеводородной энергетике преобладающими источниками для получения электроэнергии являлись уголь/торф – вклад 36,7%) и природный газ – 23,5%), а в возобновляемой энергетике – гидро (16,0%), ядерные (10,3%), ветровые (5,3%) и солнечные (2,6%), причем за последние годы вклад этих двух источников имел тенденцию к постоянному увеличению.

Что касается Узбекистана, то в производстве электроэнергии в период 2017- 2020 годы между источниками углеводородной энергетики (природный газ - 83,0%, уголь - 4,0%) и возобновляемой энергетики (в основном гидроресурсы – 13,0%) сложилось соотношение как 87% и 13%, соответственно. Роль солнечных и ветровых источников энергии, несмотря на имеющийся в Узбекистане значительный потенциал солнечной инсоляции и ветровых потоков [3, 11, 17], является пока еще достаточно малой по сравнению с приведенными выше показателями для других энергоисточников.

Следует отметить, однако, что как в странах мира, так и в Узбекистане, установленные мощности электростанций, работающих на различных видах первичных энергоисточников, и объемы выработанной ими электроэнергии

отличаются по их относительному вкладу в соответствующие суммарные показатели установленных мощностей и в объемы произведенной электроэнергии.

Сложившиеся диспропорции удельного веса различных энергоисточников в выработке электроэнергии в Узбекистане по сравнению с мировыми показателями, привели к необходимости проводить дальнейшее развитие электроэнергетики на основе диверсификационной трансформации энергетической отрасли, в том числе на основе реализации предложенной D-концепции, с принятием соответствующих управленческих решений и проведением неременной оценки влияния потенциально опасных внешних и внутренних рисков на проводимую реорганизацию энергетической отрасли.

Так, в разработках академика АН РУз К.Р.Аллаева [4, 11] особая роль в энергобалансе Узбекистана отводится развитию возобновляемой или так называемой «зеленой» энергетики (гидроресурсы, солнечная, ветровая и геотермальная энергия, биомасса) экономически рентабельный потенциал которой составляет в республике почти 256 млн.т.у.т. Потенциал и возможности развития ветровой энергетики в Узбекистане оценены также и в нашей статье [17].

Как известно, [10] в настоящее время в энергетической отрасли республики происходит одновременно модернизация ряда действующих электростанций (Сырдарьинская ТЭС, Фархадская ГЭС и др.) и создание новых генерирующих мощностей – тепловых газотурбинных (ТЭС), солнечных фотоэлектрических (СЭС) и ветровых (ВЭС) электростанций. Кроме этого, с целью надежного энергообеспечения в республике проводится совершенствование инфраструктуры энергетики, проводится обновление и модернизация электрических сетей и трансформаторных подстанций и пунктов, началось внедрение интеллектуальных принципы управления [18], в том числе электропотреблением на промышленных предприятиях с непрерывным циклом работы [19].

Суммарная мощность установленных в республике по состоянию на конец 2020 г. генерирующих мощностей составляет 14,13 ГВт [10], причем по сравнению с 2000 годом произошло увеличение производственных мощностей более чем в 1,8 раз. В период 2021 – 2025 годы работа по созданию в республике новых генерирующих энергию мощностей (ТЭС, СЭС, ВЭС, а также АЭС) активно продолжается, в основном за счет реализации инновационных проектов с привлечением прямых внешних инвестиций крупных энергетических компаний ряда зарубежных стран (Франция, Германия, Нидерланды, Турция, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты, Россия, Китай), которые принимают на себя потенциально возможные риски при финансировании, проектировании и строительстве этих электростанций. Так, в конце 2021 г. были введены 1,75 ГВт новых генерирующих мощностей ТЭС комбинированного цикла, созданных за счет прямых инвестиций двух турецких компаний и кредитов в энергосистеме Узбекистана (Сурхандарьинская область – ТЭС мощностью 900 МВт и Ташкентская область – ТЭС мощностью 850 МВт). Кроме того, в период 2020 – 2022 гг. согласно заключенным соглашениям уполномоченных организаций Узбекистана с зарубежными инвесторами и принятым на их основе постановлениям Президента Республики Узбекистан

запланированы, началось проектирование и строительство в большинстве (9) регионов республики 16 новых крупных электростанций, с привлечением прямых иностранных инвестиций в объеме свыше 9,0 млрд. долл. США, в том числе:

- 6 тепловых электростанций суммарной мощностью свыше 4,0 ГВт, из них 3 парогазовые (Ташкентская область – 240 МВт; Сурхандарьинская область – 1,5- 1,6 ГВт и Сырдарьинская область – 1,5 ГВт) и 3 газопоршневые (Ташкентская область – 230 МВт; Бухарская область – 270 МВт и Хорезмская область – 174 МВт);

- 5 солнечных модульных электростанций суммарной мощностью почти 1,2 ГВт (Самаркандская область – 100 МВт (осуществлен ее запуск 24 мая 2022 г. с подачей электроэнергии в Единую энергосистему РУз) и вторая СЭС - 220 МВт; Сурхандарьинская область – 456,6 МВт; Джизакская область – 220 МВт и Навоийская область – 200 МВт);

- 5 ветровых электростанций суммарной мощностью свыше 3,0 ГВт (Республика Каракалпакстан – 100 МВт и вторая ВЭС – 1,5 ГВт (самая крупная ВЭС в Центральной Азии); Бухарская область – 300-500 МВт и вторая ВЭС – 500 МВт, а также Навоийская область – 500 МВт).

Таким образом, в соответствии с заключенными инвестиционными соглашениями и принятыми планами создания этих электростанций введенные до конца 2025 г. мощности энергосистемы Узбекистана будут составлять порядка 8,2 ГВт, а суммарная установленная мощность, с учетом строительства ряда других и модернизации действующих ТЭС и ГЭС, будет составлять не менее 25,0 ГВт, т.е. возрастет почти в 1,6 раз.

В перспективе строительства в Джизакской области Атомной электростанции по технологии ГП «РОСАТОМ» (Россия) – 2 блока по 1,2 ГВт. к 2030 г. производственная мощность энергосистемы Узбекистана будет увеличена почти в 2 раза по сравнению с 2020 г.

Заключение. Таким образом, к 2029-2030 годам вклад различных энергоисточников в производственные мощности энергосистемы Узбекистана будет претерпевать существенное изменение по сравнению с 2020 г. А именно, между источниками углеводородной энергетики (природный газ ориентировочно - 67,0%, уголь - 3,0%) и возобновляемой энергетики (в том числе ориентировочно гидроресурсы – 6,5%, ветровые ресурсы – 10,5%, солнечная энергия – 4,5%, атомная энергия – 8,5%) будет достигнуто соотношение почти как 70% и 30%, соответственно.

Это позволит не только приблизить эти показатели энергетики Узбекистана к общемировому уровню, но и существенно повысить устойчивость энергосистемы и обеспечить энергобезопасность Узбекистана за счет реализации целого ряда инновационных инвестиционных проектов создания новых электростанций различного типа и использования эффективных инновационных технологий в энергетике и диверсификации источников энергии [20] с функционированием как минимум шести различных энергоисточников, а также обеспечения гибкого управления трансформацией энергетической системы Узбекистана.

Таким образом, следует констатировать, что в настоящее время осуществляется эффективное управление трансформацией энергосистемы Узбекистана с ростом производственных мощностей, в том числе на основе усовершенствованной интегральной модели развития энергетики - «D - Концепция», включающей также диверсификацию трех основных факторов, влияющих на развитие энергетики, а именно: - диверсификация энергоисточников (ТЭС, СЭС, ВЭС, ГЭС и АЭС), - распределение электростанций по всем регионам страны (диверсификация территорий), а также - разнообразие привлекаемых иностранных инвесторов, как по странам, так и по компаниям (диверсификация инвесторов), вкладывающих средства в проектирование и строительство новых крупных электростанций, с принятием на себя обязательств по возможным рискам.

Это позволит повысить производственную мощность и эффективность энергосистемы и обеспечить энергобезопасность Узбекистана.

Литература

1. Электронный ресурс <https://ru.wikipedia.org> > wiki > Энергетика.
2. Электронный ресурс <https://ru.wikipedia.org> > wiki > Электроэнергетика.
3. Аллаев К.Р. «Современная энергетика и перспективы ее развития». // Монография. - Ташкент: Fan va texnologiyalar. 2021, 952 стр.
4. Вертешев С.М., Воронов М.В., Герасименко П.В., Кремков М.В. «Принятие решений при управлении организационными системами». // Монография. – Псков: Псковский госуниверситет, Россия. 2019, 218 стр.
5. Кремков М.В., Воронов М.В. «О принципах разработки и методологии принятия управленческих решений в энергетической отрасли Узбекистана». // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент: ТашГТУ. 2019, № 3 - 4, С. 216 - 221.
6. Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы» (приложение №1), № УП-60 от 28 янв. 2022 г.
7. Кремков М.В. «Стратегия и сценарий развития энергетики Узбекистана на долгосрочный период с учетом диверсификации энергоисточников». // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент: ТашГТУ. 2017, № 1 - 2, С. 10 - 15.
8. Кремков М.В. «Энергетические ресурсы и обеспечение энергобезопасности Республики Узбекистан». // Журнал «Энергетик». - М.: Минэнерго РФ, 2014, №9, С. 19 - 22.
9. Захидов Р.А., Кремков М.В. «Развитие возобновляемых источников энергии: потенциал и возможности для обеспечения энергобезопасности Узбекистана». // Журнал «Промышленная энергетика». – М.: Минэнерго РФ, 2016, №5, С. 41 – 45.
10. Электронный ресурс <https://eenergy.media/2021/06/17/kak-razvivaetsya-energetika-uzbekistana>.
11. Аллаев К.Р. «Роль «зеленой» энергии в энергобалансе мира и Узбекистана». // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». - Ташкент: ТашГТУ. 2017, № 3 - 4, С. 11 - 29.
12. Кремков М.В. «Роль и перспективы участия предприятий энергетики в формировании территориальных производственно-энергетических кластеров в

Узбекистане». // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент: ТашГТУ. 2018, № 3 - 4, С. 20 - 24.

13. Воронин С.А., Кремков М.В., Умаров А.А. «Особенности инновационных рисков и управление ими». // Сб. мат. межд. научно-практ. конф. «Управление инновациями 2012» (Москва, 19-21 ноя. 2012 г. НИИ проблем управления РАН.). 2012, С. 162-169.

14. Кремков М.В., Воронин С.А. «Влияние рисков на энергопотребление в условиях мирового финансового кризиса». // Журнал экономической теории. - М.: РАН. 2009, № 4, С.109-116.

15. Кремков М.В. «Особенности внутренних рисков для предприятий топливно-энергетического комплекса». // Журнал «Энергобезопасность и энергосбережение», - М.: НИИ энергобезопасности и энергосбережения. 2012, №5, С. 5-8.

16. Электронный ресурс <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2019>.

17. Zakhidov R.A., Kremkov M.V. «The Wind Energy Potential of Uzbekistan». // International Journal Applied Solar Energy, USA, 2015, Vol. 51, No. 4, pp. 336 – 337,

18. Хамидов Ш.В. «Исследование интеллектуализации электроэнергетики Узбекистана». // Автореф. дис. докт. техн. наук, - Ташкент: ТашГТУ, 2019.

19. Рахмонов И.У. «Методология управления электропотреблением промышленных предприятий с непрерывным характером производства». // Автореф. дис. докт. техн. наук, - Ташкент: ТашГТУ, 2022.

20. Захидов Р.А., Кремков М.В. «Инновационные технологии в энергетике: диверсификация энергоисточников и обеспечение энергобезопасности Узбекистана». // Сб. стат. научно-практ. конф. с межд. участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность -2017» (РФ, Севастополь, 11 - 15 сен. 2017 г.), С. 697 – 701.

Представлено Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова Академии наук Узбекистана и Московским государственным психолого-педагогическим университетом

**ELECTRICITY INTENSITY OF GDP OF THE REPUBLIC OF
BELARUS: AN ANALYSIS IN A SECTORAL AND REGIONAL
CONTEXT, INCLUDING COMPARATIVE ANALYSIS WITH EAEU
COUNTRIES****T.G. Zoryna, O.I. Yurkevich**

Maqola Belarusiya yalpi ichki mahsulotining elektr quvvati xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan: indikatorni aks ettirishning turli yondashuvlari va ularning ko'rsatkichlarning tarqalishiga ta'siri tahlil qilindi, tarmoq va mintaqaviy kesimda tahlil o'tkazildi, YaIM elektr energiyasining o'zgarishiga ta'sir qiluvchi omillar baholandi, aholining elektr iste'moli va narx omilining YaIMning elektr energiyasiga ta'siri o'rganildi, Evroosiyo Iqtisodiy Ittifoqi mamlakatlari bilan qiyosiy tahlil o'tkazildi. Energiya iste'moli va YaIM hajmi o'rtasidagi sezilarli bog'liqlik qayd etildi, energiya iste'molining o'zgarishini bashorat qilishga imkon beradigan energiya egiluvchanligi ko'rsatkichi aniqlandi Evroosiyo Iqtisodiy Ittifoqi mamlakatlari bilan taqqoslanadigan elektr quvvati darajasi bilan Evroosiyo Iqtisodiy Ittifoqi mamlakatlariga nisbatan tariflarning yuqori darajasi qayd etildi, bu milliy iqtisodiyotning raqobatbardoshligiga ta'sir qiladi. Tarif va elektr iste'molining o'sishi o'rtasida funktsional bog'liqlik yo'qligi qayd etildi, bu respublikada elektr energiyasi bozorida raqobat yo'qligini ko'rsatdi, ammo tarif darajasining pasayishi bilan tashkilotlar tomonidan elektr iste'molining o'sish tendentsiyasi ham qayd etildi. BelAESning Belarusiya Respublikasining energiya tizimiga qo'shilishi sharoitida elektr energiyasini iste'mol qilishni ko'paytirish zarurligini va energiya iste'molining o'sish sur'atlari va YaIM o'sish sur'atlari o'rtasidagi mavjud bog'liqlikni hisobga olgan holda, elektr energiyasini iste'mol qilishni ko'paytirishning samarali mexanizmi YaIM hajmining o'sishi bo'ladi.

Статья посвящена исследованию особенностей электроемкости ВВП Республики Беларусь: проанализированы различные подходы к отражению показателя и их влияние на разброс показателей, проведен анализ в отраслевом и региональном разрезе, оценены факторы, оказывающие влияние на изменение электроемкости ВВП, исследовано влияние электропотребления населения и ценового фактора на электроемкость ВВП, проведен сравнительный анализ со странами ЕАЭС. Отмечена существенная взаимосвязь между электропотреблением и объемом ВВП, определен показатель энергетической эластичности, позволяющий прогнозировать изменение электропотребления. При сопоставимом по странам ЕАЭС уровне электроемкости, отмечен высокий уровень тарифов в сравнении со странами Европейского союза, влияющий на конкурентоспособность национальной экономики. Отмечено отсутствие функциональной зависимости между тарифом и ростом электропотребления, свидетельствующее об отсутствии конкуренции на рынке электроэнергетики в республике, однако также отмечена общая тенденция к росту электропотребления организациями при снижении уровня тарифа. Обозначено, что с учетом необходимости увеличения объемов потребления электроэнергии в условиях интеграции БелАЭС в энергосистему Республики Беларусь и существующей зависимости между

темпами роста потребления энергии и темпами роста ВВП, действенным механизмом повышения потребления электроэнергии будет наращивание объемов ВВП.

The article describes features of the electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus: various approaches to reflect the indicator and their impact on the distribution of indicators are analyzed. The analysis was performed in a sectoral and regional context, factors influencing the change in the electricity intensity of GDP were evaluated, the influence of electrical power consumption of the population and the price factor on the electricity intensity of GDP was studied and a comparative analysis with Eurasian Economic Union (EAEU) countries carried out. A significant relationship between electricity consumption and the volume of GDP was noted, and an indicator of energy elasticity was determined, which makes it possible to predict changes in electricity consumption. With a level of electricity intensity comparable across the EAEU countries, a high level of tariffs was noted in comparison with countries of the European Union, which affects the competitiveness of the national economy. The absence of a functional relationship between the tariff and the growth of electricity consumption was noted, indicating a lack of competition in the electricity market in the republic, however, a general trend towards an increase in electricity consumption by companies with a decrease in the tariff level was also noted. This points to an effective mechanism for increasing electricity consumption will be an increase in GDP. This results from both the need to increase the volume of electricity consumption in the context of the integration of the Belarusian Nuclear Power Plant (BelNPP) into the energy system of the Republic of Belarus and the existing relationship between the growth rate of energy consumption and the growth rate of GDP.

Introduction. Regardless of the industry specifics of a country's economy, its size, climate and geographical position, the main share of all consumed energy resources is electrical energy. Among the most important parameters which determine the degree of efficiency in the use of electrical energy, the most objective is the indicator of the electricity intensity of gross domestic product (hereinafter referred to as GDP).

In general, the electricity intensity of GDP is a macroeconomic parameter derived from many factors: the composition and production volumes of various types of products, economic growth and transformation of its structure, the development of electricity-intensive economic activities and the features of technological processes associated with them, the technical condition of fixed assets and the modernization of worn-out equipment, improvements in production technology, the impact of climatic and weather conditions, etc [1]. The indicator of electricity intensity of GDP characterizes the quantitative consumption of electric energy spent per unit of GDP, and is determined by the ratio of electric energy consumption to the value of GDP [2].

According to data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus [3], the GDP electricity intensity indicator is calculated based on GDP in 2005 prices. The dynamics of this indicator are shown in fig. 1.

Electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus. According to data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus [3], the GDP electricity

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

intensity indicator is calculated based on GDP in 2005 prices. The dynamics of this indicator are shown in fig. 1.

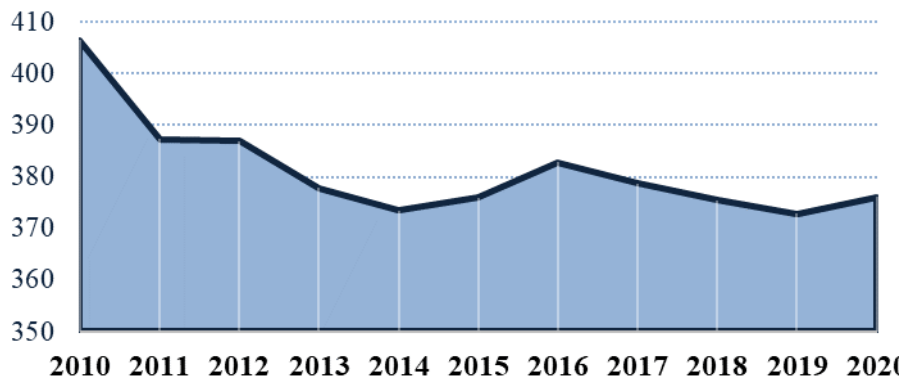


Fig.1. Electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus (GDP in 2005 prices), kWh / million rubles

From 2010 to 2020, the electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus decreased by 7.5% to 376.1 kWh / million rubles. The main factors influencing the indicator's decline include a change in the structure of production (the Republic of Belarus' service sector has been steadily growing in recent years and energy consumption in the service sector is much lower than in the industrial sector), as well as a change in the level of technological development of various industries. Despite, of this, the general trend towards a decrease in electricity intensity, this indicator increased twice during the study period – in 2016 and 2020.

It is necessary to note that in scientific publications there is a debate about how to present GDP for the most correct assessment of electricity intensity: in terms of purchasing power parity or exchange rate, in current or base year prices, in national currency or dollars. Presenting the GDP electricity intensity indicator in different units of measurement leads to significant dispersion, especially for countries with economies in transition, including Belarus (fig. 2).

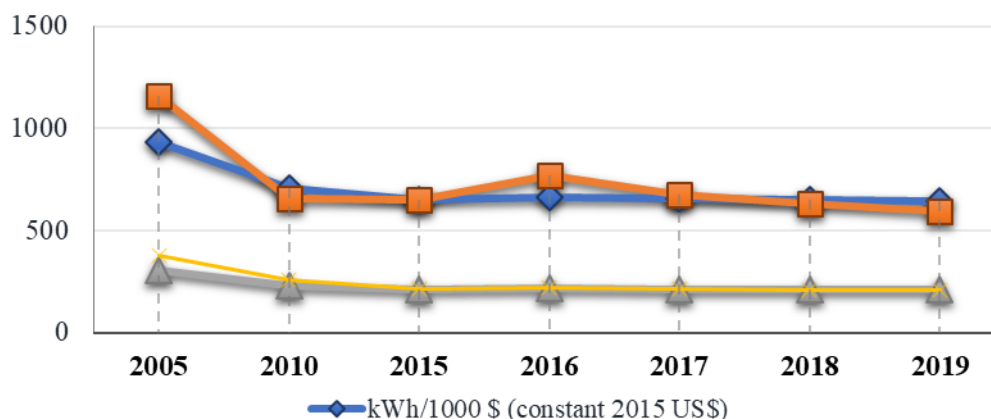


Figure 2. Distribution of GDP electricity intensity for different representations of the GDP indicator

In this article, when conducting an analysis within a country, GDP will be converted according to the rate of exchange, and when conducting cross-country comparisons, in order to eliminate the influence of price disparity and a comparable measurement of the volume of the national product, the GDP of various countries will be recalculated at purchasing power parity (hereinafter referred to as PPP). However, the PPP calculation tends to increase of the GDP of low and middle-income countries and decrease of the value of this indicator for high-income countries [4].

The volume of GDP and the volume of electricity consumption in the Republic of Belarus for 2010-2020 are presented in fig. 3.

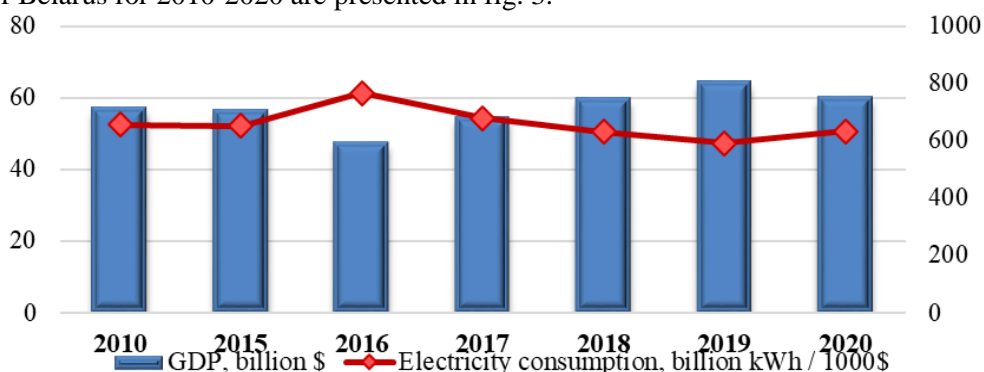


Fig. 3. GDP and electricity consumption in the Republic of Belarus, 2010-2020

It should be noted that there is a significant relationship between electricity consumption and the volume of GDP, the correlation coefficient being 0.96, which indicates the possibility of predicting electricity consumption based on forecast of changes in GDP.

At the same time, energy elasticity, which reflects the percentage change in energy consumption to achieve a one percent change in national GDP, is more suitable for predicting electricity consumption, since it is free from cost estimates. For 2005-2020 the average value of the of elasticity coefficient of electricity consumption to GDP was 0.1. It means that 0.1% of the increase in electricity consumption accounts for 1% of the relative increase in GDP.

Comparison of the electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus with the countries of the EAEU.

Comparison of the electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus with the countries of the Eurasian Economic Union and the European Union (EU) shows that the level of electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus (0.19 kWh/USD) is significantly lower than in most EAEU countries (in particular, 24% below the Russian Federation and 9.5% below the Republic of Kazakhstan). However, despite of a significant decrease in electricity intensity in recent years, this indicator in the Republic of Belarus is 18.7% higher than in the countries of the European Union as a whole (0.16 kWh/USD).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

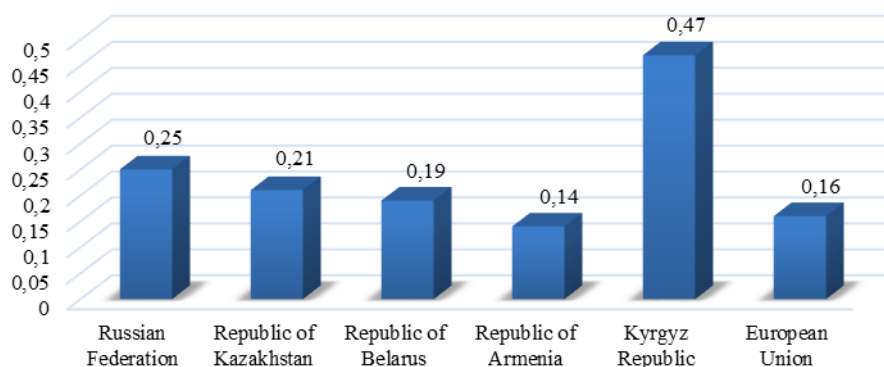


Fig. 4. The level of electricity intensity of GDP of EAEU countries and the European Union, calculated at purchasing power parity, kWh / USD (based on data [5])

The main factors, which determine the higher value of electricity intensity of GDP for the Republic of Belarus, in comparison with EU countries, include the following:

- structure of production: the share of the service sector, in which electricity consumption is significantly lower than in the industrial sector, in the Republic of Belarus it is 49.1%, end in the European Union, 64.5%;
- climatic factor: low temperatures and their significant fluctuations lead to additional electricity consumption;
- technological factor: countries with developed economies are characterized by the use of more modern and high-tech equipment.

Similar factors are inherent in some other EAEU countries, for example, in the Russian Federation [6].

At the same time, despite the practically comparable level of electricity intensity of GDP, the level of tariffs for electricity for industry in the Republic of Belarus is significantly higher than in Europe and EAEU countries (fig. 5), which significantly limits the competitiveness of national industry [7].

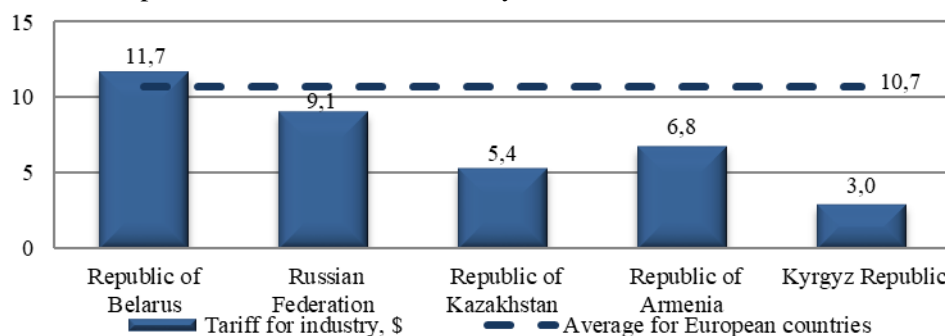


Fig. 5. Level of electricity tariffs for industry in the EAEU countries and the European Union, kWh (based on data [8])

Reducing the electricity intensity of GDP for EAEU countries and the Republic of Belarus in particular remains an urgent task and, taking into account the indicated factors, it is possible through the introduction of new energy-efficient technologies in

all sectors of the economy and individual technological processes. At the same time, a prerequisite for development of industry is the establishment of balanced tariffs for energy resources, which ensures the competitiveness of products [9].

Electricity intensity of GDP by regions of the Republic of Belarus

It should be noted that there is a rather similar trend in the change in electrical intensity within the regions of the Republic of Belarus (fig. 6). The lowest indicators of electricity intensity of GDP were noted in the Minsk region, the highest in the Gomel and Vitebsk regions, which is due to most industrial production being located in these regions [10].

In addition, with a general increase in the electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus in 2016 by 17.8% compared to the previous year, the increase in the Gomel region amounted to 23.4%. This is due to a general decrease in electricity consumption in the Gomel region in 2016 of 109 million kWh, or 1.5%, and a decrease in gross regional product (hereinafter referred to as GRP) (GRP of \$936.2 million, or 20%, due to a decrease in the volume produced by the manufacturing industry of 26%).

In 2020, there was a general increase in the electricity intensity of GDP of the republic by 5.0% compared to the previous year, the increase in electricity intensity in the Brest region amounted to 6.8%. The total consumption of electricity in the region increased in absolute terms by 141 million kWh, or by 4.3%, with a decrease in GRP by 2.6% due to the growth of manufacturing industries by 103.3%.

It should also be noted that in 2020, whilst there was an increase in electricity intensity in the republic, and the decrease in the Vitebsk region was 1.4%. So electricity consumption in the Vitebsk region in absolute terms decreased by 76 million kWh, or 0.25%, with a slight change in GRP (100.4% relative to the level of 2019).

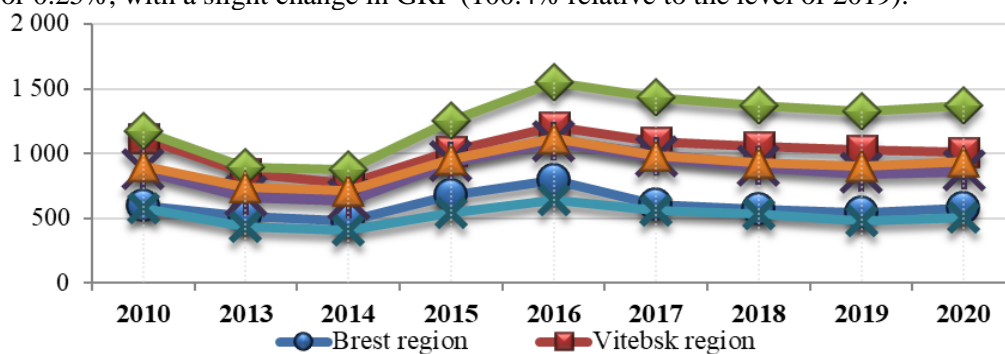


Fig. 6. Electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus by region, kWh / 1000 USD

Electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus by sectors of the national economy.

Electricity consumption in industry is almost 1.5 times higher than electricity consumption in the service sector and about 2 times higher than electricity consumption by the residential (fig. 7).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

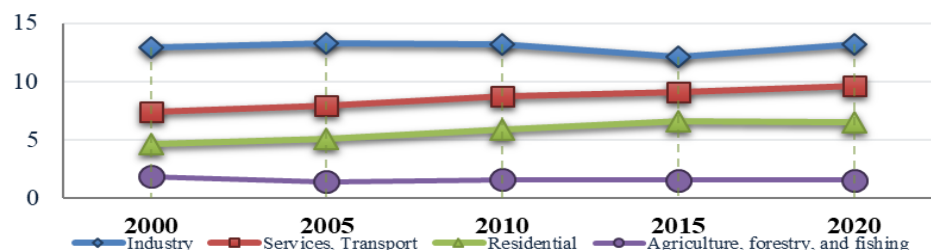


Fig. 7. Electricity consumption by sectors of the economy, million kWh

Considering the indicator of electrical intensity in the context of sectors of the economy, it can be noted that the main decrease in electricity intensity of GDP of the Republic of Belarus was achieved by reducing the electrical intensity of industry (fig. 8).

Over the past 15 years, electrical intensity of industry (including construction) has decreased by 30.6% from 549 kWh / 1000 USD to 381 kWh / 1000 USD, which, with an increase in GDP, indicates an increase in the efficiency of energy usage, an improvement in the technical base of production following introduction of energy-efficient technologies and equipment, increasing the level of production organization.

In the agriculture, forestry and fisheries industry, over the period from 2005 to 2020, electricity intensity decreased by 39.9%, the main decrease, however, occurred more than 15 years ago, over the past 5 years, electricity intensity in this industry has increased by 3.6%.

The services and transport industry also experienced a decrease in electrical intensity during the period under review of 50.5%, the main decrease occurred before 2010, over the past 5 years electrical intensity increased by 5.6%, which may indicate an increase in the use of electricity in non-electrically intensive industries, including the development of electrified transport.

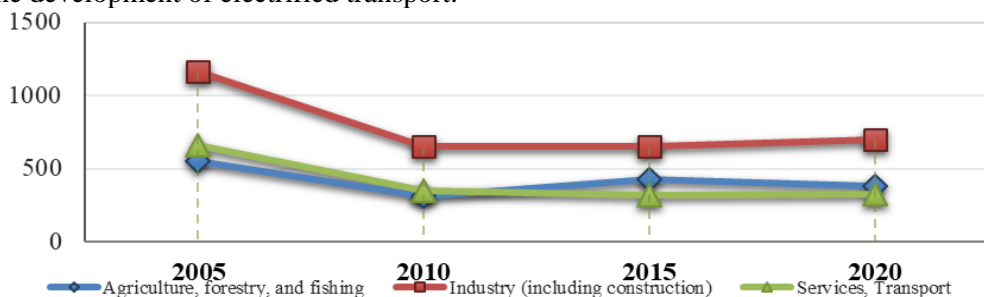


Fig. 8. Dynamics of electricity intensity of GDP by sectors of the economy

The following should be noted regarding the growth in the electricity intensity of GDP in 2020:

- due to industry, electricity intensity increased by 10.1 kWh / 1000 USD, while a decrease in industrial production led to an increase of 15.6 kWh / 1000 USD, a decrease in electricity consumption in industry led to a decrease in the electricity intensity of GDP by 5.5 kWh/1000 USD;

- due to the services and transport sector, electricity intensity increased by 18.1 kWh/1000 USD, including by 15.9 kWh/1000 USD relating to growth in production

volumes and 2.2 kWh/1000 USD due to the growth of electricity consumption in this area;

- due to the agriculture, forestry and fisheries sector, electricity intensity increased by 3.0 kWh/1000 USD, of which 2.6 kWh/1000 USD is due to production volumes and 0.4 kWh/ 1000 USD relating to increased electricity consumption/

- due to the growth of consumption by the population, electricity intensity increased by 3.4 kWh/1000 USD.

If we consider the amount of electricity spent on the production of one unit of GDP by industry (fig. 9), then the mining industry has the highest electricity intensity (993.6 kWh / 1000 USD) and the construction industry, the lowest.

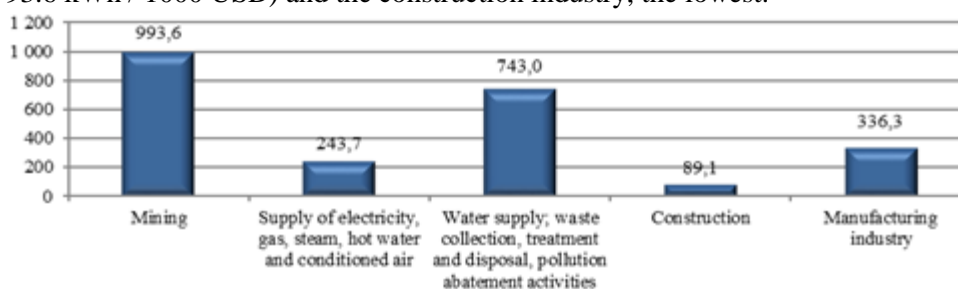


Fig. 9. Electricity intensity of GDP by industry, kWh/1000 USD

In the context of the manufacturing industry, the production of chemical products (885.9 kWh / 1000 USD), metallurgy (684.7 kWh / 1000 USD) and the production of rubber and plastic products (484.0 kWh / 1000 USD) have the highest electricity intensity, the lowest is the food industry (140.7 kWh/1000 USD) – fig. 10.

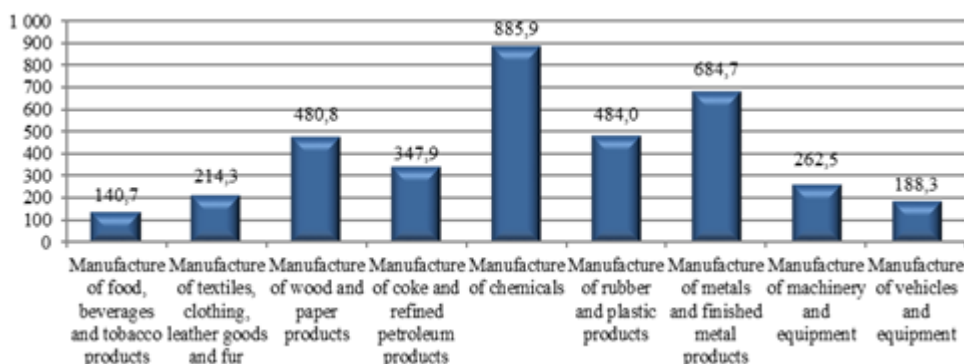


Fig. 10. Electricity intensity of the manufacturing industry by type of activity, kWh/1000 USD

Impact on electricity intensity of GDP of electricity consumption by the population.

When analyzing the electrical intensity, it is necessary to note the impact of electricity consumption by the population on this indicator, since in general, electrical intensity takes into account the entire volume of electricity consumed in the country. In 2020, due to an increase in electricity consumption by the households of 218 mil-

lion kWh, or 3.3% compared to the previous year, the growth in the electricity intensity indicator amounted to 3.4 kWh/1000 USD.

It is important to note the existing upward trend in electricity consumption by the population. The dynamics of electricity consumption per capita is shown in fig. 11. Over the past 10 years, consumption per person has increased by 15.6%, with a slight upward trend from 2013 to 2019 (2.4% for the entire period) over the past year, electricity consumption increased by 3.8%.

This can be explained by the introduction, from 1st January 2019, of preferential tariffs for the households for electricity used in heating and hot water supply of residential buildings that are not equipped with centralized heat and gas supply systems, and the subsequent transition of citizens to electrical heating of residential buildings.

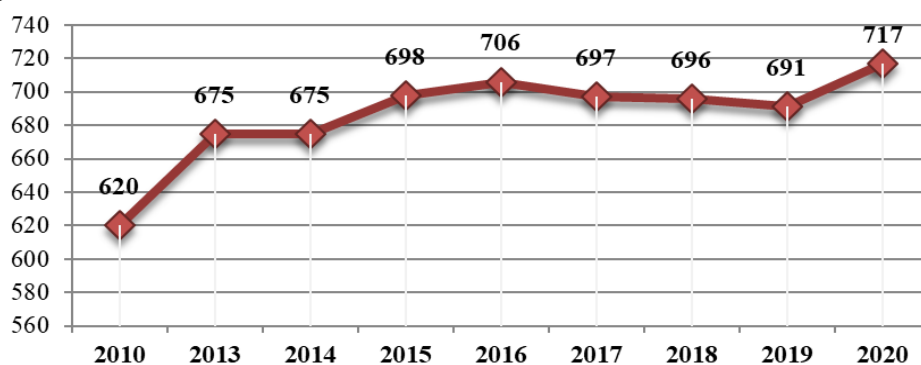


Fig.11. Electricity consumption per capita, million kWh

The role of the price factor in changing electricity consumption

To obtain a generalized idea of the impact of electricity tariffs on the change in electricity consumption, the ratio of the actual average tariff and the increase in usable electricity consumption by companies was analyzed.

The analysis showed the absence of a direct correlation between the electricity tariff and demand for electricity (the correlation coefficient is only 0.2) – fig. 12. The absence of a relationship between the tariff and the growth in electricity consumption is a sign of a lack of competition in the electricity market. It should also be noted that during the period under review, there is a general trend towards an increase in power consumption by companies with a decrease in the tariff level.

An analysis of the relationship between electricity consumption by the households and the average tariff for the households showed a similarly low correlation coefficient (fig. 13).

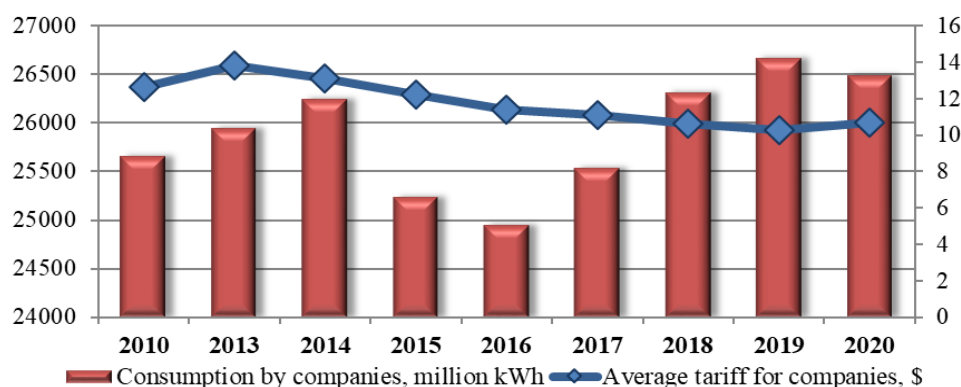


Fig. 12. Dynamics of productive electricity consumption by companies and the average electricity tariff for companies

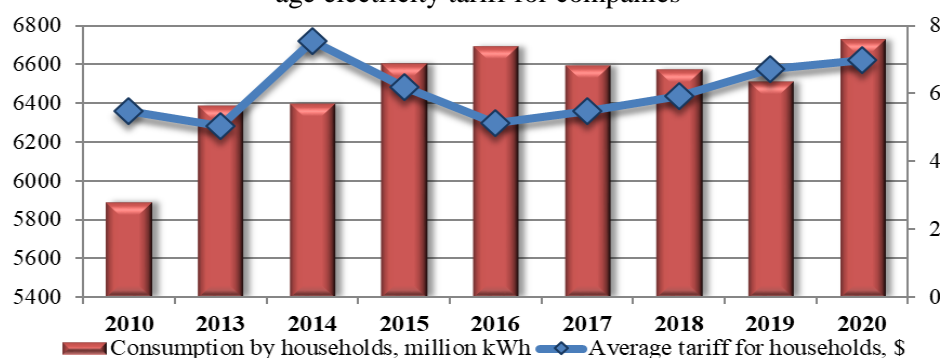


Fig. 13. Dynamics of usable electricity consumption by the households and the average electricity tariff for the households

The trend towards a decrease in electricity consumption by the households with an increase in the electricity tariff is insignificant, which indicates that the existing, rather low level of tariffs for the population does not stimulate the population to save energy (with an average level of tariffs for the population of \$20.8 per 1 kWh in the EU, and an average tariff for the population in the Republic Belarus is \$8.5 per 1 kWh).

Conclusions. Reducing the energy and electricity intensity of manufactured products has always been considered as an important state task and was under the special control of the governing bodies. In recent years, the country has done a lot of work in this direction, so the electricity intensity of GDP decreased by 7.5% from 2010 to 2020.

The results of the study of the features of the electricity intensity of GDP can be used in the further formation of the energy policy of the Republic of Belarus. Since the commissioning of the BelNPP into the energy system of the Republic of Belarus leads to the need to increase the volume of electricity consumption and there is a direct relationship between the growth rate of energy consumption and the growth rate of GDP, an effective mechanism for the state policy of increasing electricity consumption will be an increase in GDP. The increase of the domestic electricity consumption can be achieved through creation of new power-intensive industries, the development of elec-

trified transport and its charging infrastructure. At the same time, a prerequisite for the development of industry, production and subsequent export of energy-intensive products is the establishment of balanced tariffs for energy resources that stimulate consumption growth and ensure the competitiveness of products.

References

1. Antonov N V and Tatevosova L I 2009 The dynamics of electricity intensity of the Russian economy in 2006-2007. In the field of electricity consumption forecasting Problems of Forecasting 3 77-91 [in rus]
2. Baev I A, Solovyova I A and Dzyuba A P 2013 Regional reserves of energy efficiency Economics of the region 3 180-89 [in rus]
3. Energy balance of the Republic of Belarus: statistical collection 2021 Minsk National Statistical Committee of the Republic of Belarus p 147 [in rus]
4. Nigmatulin B I 2019 Electricity intensity of GDP. Electricity tariffs for end consumers. Electricity prices at nuclear power plants in Russia and USA. Comparison with the World, OECD, USA, China and other countries Izvestiya RAN. Energy 6 19-42 [in rus]
5. Electric power industry of the Commonwealth of Independent States 2010-2020: Annual collection 2021 Moscow Executive Committee of the CIS Electric Power Council p 186 [in rus]
6. Melnik A N and Anisimova T Y 2010 Evaluation of energetic factor influence on development of domestic economics in crisis conditions Bulletin of the Tomsk State University 11 199-206 [in rus]
7. Zorina T G and Yurkevich O I 2022 Tariff policy for energy resources in the EAEU countries Scientific works of the Belarusian State Economic University 15 182-89 [in rus]
8. Rating of European countries on the availability of electricity for the population [Electronic resource] – Access mode: <https://riarating.ru>.
9. Zorina T G and Prusov S G 2019 Formation of a comprehensive tariff policy for energy resources in Belarus Belarusian Economic Journal 4 86-99 [in rus]
10. Zhigalskaya L O 2021 Sustainable development of the energy sector of the Republic of Belarus: regional features Materials of the All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation Sixth Maksakov Readings 49-56 [in rus]

*Presented by the Institute of Energy
of the National Academy of Sciences of Belarus*

УДК 621.311

**О КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ОБСЛЕДОВАНИЙ И АУДИТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 – 10 кВ****О.В. Радионова, Р.А. Ситдиқов, Т.Х. Нуралиев, О.А. Орзимбоев**

Мақолада электр энергияси истеъмолчиларининг энергетик текширувларини (энергия аудити) ўтказиши учун кибер-физик усуллардан фойдаланиши тақлиф этилади. 0,4-10 кВ кучланишли саноат ва коммунал истеъмолчиларининг электр тармоқлари параметрларини аниқлаш бўйича мониторинг ўтказиши орқали энергия аудити учун маълумотларни олиши ва қайта ишлаш методологияси ва хусусиятлари таҳлил қилинади.

В статье предлагается использование киберфизических методов для проведения энергетических обследований (энергоаудитов) потребителей электроэнергии. Анализируются методология и особенности получения и обработки данных для энергоаудита проведением мониторинга по определению параметров электрических сетей промышленных и коммунальных потребителей напряжением 0,4 – 10 кВ. Анализируются широкие возможности киберфизических систем, основанных на цифровизации и интеллектуализации, для решения различных задач в электроэнергетике.

The article proposes the use of cyber-physical methods for conducting energy surveys (energy audits) of electricity consumers. The methodology and features of obtaining and processing data for energy audit by monitoring to determine the parameters of electrical networks of industrial and municipal consumers with a voltage of 0.4 - 10 kV are analyzed. The wide possibilities of cyber-physical systems based on digitalization and intellectualization are analyzed for solving various problems in the electric power industry.

Введение. Электроэнергетика в мире и Узбекистане претерпевает существенные изменения, обусловленные внедрением инноваций четвертой промышленной революции. В [1] отмечается, что четвертую промышленную революцию определяет взаимодействие в цифровой, физической и других областях; что инновации способны не только повышать эффективность и результативность деятельности компаний, но и радикальным образом трансформировать рыночную среду, приводя к серьезным изменениям технико-экономических парадигм и организационных моделей, в том числе в электроэнергетике. Автоматизация, развитие киберфизических систем, промышленного Интернета вещей и цифровых технологий кардинально преобразовывают традиционный технологический и организационный уклад в электроэнергетике [2-5].

Киберфизические методы используются на основе киберфизических устройств, систем и подразумевают синергетическую интеграцию вычислений и управления с физическими устройствами и энергетическими процессами. Более

того, внедрение киберфизической системы (КФС) в автоматизированные системы предприятий поможет объединить автоматизированное управление технологическими процессами и автоматизированное управление производством и предприятием в целом, поможет создать управляемую интегрированную систему. Киберфизический подход к проведению энергетических обследований позволяет интегрировать (совмещать) автоматизированное управление, связь и различные вычисления с проведением процедур энергетического аудита электрических сетей и оборудования на различных уровнях и объектах производства. Поэтому цель настоящей работы – анализ возможностей повышения эффективности проведения энергетических аудитов энергосистемы посредством использования КФС для мониторинга сетей и оборудования 0,4 – 10 кВ, а также сформулировать возможные эффекты от использования такой технологии для электроэнергетики Республики Узбекистан.

Исходя из современных требований развития и эксплуатации электрических сетей, точного определения состояния сети для оптимального управления, необходимо использовать инновационные методы оперативного проведения энергетических аудитов, особенно это касается электрических сетей напряжением 0,4 - 10 кВ (сети более высокого напряжения имеют достаточное количество соответствующих измерительно-информационных приборов).

Что такое киберфизическая система. Киберфизические системы (Cyber-Physical System, CPS) — это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое. В CPS обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами [6-8]. Компьютеры осуществляют мониторинг и управление физическими процессами с использованием петли обратной связи, когда происходящее в физических системах оказывает влияние на вычисления и наоборот.

Сложность такого рода задач приводит к мысли о том, что речь не идет о создании автоматизированных систем, более крупных, чем существующие, где компьютеры интегрированы или встроены в те или иные физические устройства или системы. Речь о гармоничном сосуществовании двух типов моделей. С одной стороны - это традиционные инженерные модели (механические, строительные, электрические, биологические, химические, экономические и другие), а с другой - модели компьютерные.

Предшественниками CPS можно считать встроенные системы реального времени, распределенные вычислительные системы, автоматизированные системы управления техническими процессами и объектами, беспроводные сенсорные сети.

С технической точки зрения CPS имеют много общего с сетевыми структурами, реализуемыми посредством интернета вещей (Internet of Things, IoT), Индустрии 4.0, промышленного интернета вещей (Industrial Internet), межмашинного взаимодействия (Machine-to-Machine, M2M), туманного и облачного компьютеринга (fog и cloud computing). Но этими техническими средствами ни в коем случае нельзя ограничивать представление CPS. Для этих сложных систем требуются новые кибернетические подходы к моделированию, поскольку именно модели являются центральным моментом в науке и инженерии.

Киберфизические системы в электрических сетях. Классические автоматические или автоматизированные системы, в рамках которых процедуры, поддающиеся алгоритмизации, модернизируются с использованием цифровых устройств, т.е. сейчас активно развиваются решения, построенные на базе инновационных технологий, преимущественно цифровых и коммуникационных, преобразующие существующие электрические сети в киберфизические системы, интегрирующие технологическую, управляющую и рыночную подсистемы сетей [9-10].

При этом непрерывно обеспечивается сохранение технологического единства, наблюдаемость и управляемость сети независимо от замены и/или модернизации существующего оборудования и интеграции новых цифровых технологий обработки информации с первичным и вторичным оборудованием электросетевых объектов.

КФС, в виде процессов цифровизации и интеллектуализации электроэнергетики, в том числе и электрических сетей – ответ на возникающие современные вызовы и задачи:

- обеспечение эффективной работы электроэнергетики в современных условиях;

- усложнение структуры электрических сетей в связи с внедрением новых технологических решений, прежде всего в распределительной части электроэнергетических систем, в том числе внедрение:

- возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ), имеющих слабо регулируемый характер генерации и широкий диапазон мощностей;

- накопителей электроэнергии (НЭЭ) различного назначения;

- устройств силовой электроники для активного управления потоками мощности в сетях переменного тока и построения сегментов распределительных сетей, работающих на постоянном токе;

- повышение требований потребителей и нормативных документов к надежности и качеству электроснабжения.

Структура киберфизических систем (рис.1) позволяет решать эти задачи, а также проводить мониторинг по программе энергетического аудита.

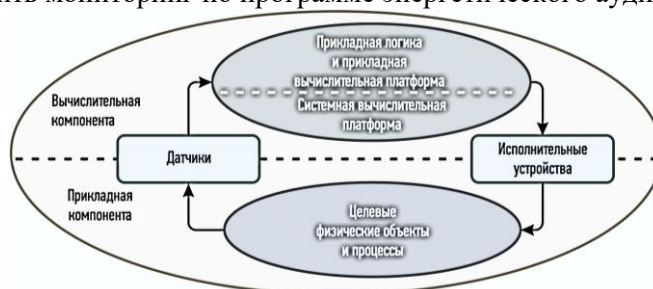


Рис.1. Структура киберфизической системы [6]

Цифровизация электроэнергетики Узбекистана и развитие КФС. Цифровизация и концепция Smart Grid лежат в основе КФС, поэтому нормативно-правовая база энергетики Республики Узбекистан предусматривает развитие электроэнергетики страны в том числе за счет цифровизации, автоматизации,

широкого использования альтернативных и возобновляемых источников энергии [5, 10-15].

Цифровизация электроэнергетики в Узбекистане тесно связана и неотделима от процессов цифровизации всех отраслей и сфер деятельности. В 2020 году Указом Президента Республики Узбекистан была утверждена и последовательно реализуется Стратегия «**Цифровой Узбекистан – 2030**», разработанная на основе системного анализа, которая предполагает ряд прорывных для страны мер, в том числе предусматривает развитие четырех ключевых сфер [11-13]:

- электронного правительства,
- цифровой индустрии,
- цифрового образования,
- цифровой инфраструктуры.

В соответствии с документом осуществляется системное решение широкого спектра долгосрочных вопросов, связанных с внедрением цифровых технологий в сферы телекоммуникаций, энергетики, государственных услуг, во все отрасли и сектора экономики, здравоохранения, государственного кадастра и др.

На основе этого разработан проект цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Узбекистана (февраль 2021 г.). Было отмечено, что одним из важнейших условий развития современного Узбекистана является экономическая стабильность страны, которая в немалой степени зависит от развития энергетики и достижения энергобезопасности. Поэтому одной из важнейших задач Министерства энергетики Узбекистана является разработка и реализация единой государственной политики в топливно-энергетической отрасли, а цифровизация ТЭК является важным звеном этой политики.

С целью развития цифровизации ТЭК осуществляется ряд мероприятий, в том числе:

- процесс реализации комплексной программы цифровизации электроэнергетики на 2019-2021 годы, которая будет направлена на автоматизацию процессов планирования ресурсов предприятия (ERP) и диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA);
- осуществляется проект «Внедрение автоматизированной системы учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ)», который должен полностью завершиться в 2022 году [16];
- внедряется аналогичная система АСКУГ для автоматизированного учета и контроля потребления природного газа.

Для решения этих и других задач развития энергетики привлекаются ведущие международные компании, отличающиеся навыками глубокой отраслевой экспертизы и пониманием мировых трендов цифровизации. Необходимо также отметить наличие большого научно-технического потенциала в республике, способного обеспечить решение задач по развитию КФС в стране.

Энергетические аудиты электрических сетей и использование КФС. Комплекс электрических сетей является естественной монополией, регулируемой государством, и важнейшей инфраструктурной частью электроэнергетики каждой страны, в том числе и Узбекистана, от которого зависят основные показатели уровня развития электроэнергетики. От производителей к потребителям электроэнергия доставляется по электрическим сетям, которые в совокупности образуют энергетическую транспортную (логистическую) систему. Поэтому

электрические сети занимают центральное место в цепочке *генерация – передача (распределение) – потребление* электрической энергии, и от них зависят основные характеристики и свойства электроэнергетических систем (ЭЭС).

Энергетические обследования или аудиты (ЭА) предприятий производства, распределения и потребления энергии, предназначенные для анализа их энергоэффективности, являются основным, базовым элементом энергосбережения.

Проведение ЭА подразделения электрических сетей отражается в соответствующей рабочей программе, устанавливающей порядок и состав работ при проведении ЭА распределительной электрической сети. Рабочая программа проведения ЭА конкретных электрических сетей составляется на основании Правил и Типовой программы проведения ЭА [17-18]. Не углубляясь в подробности отметим, что согласно этим документам, ЭА проводятся периодически – не реже 1 раза в 5 лет. В то же время из-за необходимости постоянного контроля потерь в сетях, в последние годы во многих странах и отдельных предприятиях имеется тенденция перехода от периодического ЭА к непрерывному мониторингу, в режиме on-line. Это позволяет оптимизировать режимы электрических сетей и проводить энергосберегающие мероприятия в темпе процесса.

Мониторинг и энергетический аудит электрических сетей. С точки зрения технологии улучшения энергоаудита, мониторинг электрической сети является его дальнейшим развитием путем сокращения периода замеров и внедрения метода целевого энергетического мониторинга (ЦЭМ). Такое название «целевой энергетический мониторинг» произошло от перевода термина «Energy monitoring and targeting» (M&T). Метод M&T широко применяется обычными промышленными и сетевыми предприятиями развитых стран, в том числе и для повышения эффективности ЭА электрических сетей путем мониторинга в режиме «on-line». Усовершенствованные возможности критически важны для того, чтобы гарантировать бесперебойное энергоснабжение и оптимизацию режимов для повышения экономичности электросетей, а также для планирования их развития [19].

Задачи мониторинга должны охватывать как можно больше объектов транспорта электроэнергетики и мощности с целью получения полной картины баланса электроэнергии на этапах ее распределения, передачи и потребления, включая балансы по объектам, уровням напряжения, секциям шин и собственным нуждам. Задачи мониторинга потерь и качества электроэнергии могут быть решены на базе единой системы. Целевыми задачами ЭА при мониторинге потерь электроэнергии являются:

– мониторинг параметров режимов электропотребления в точках поставки на границе балансовой принадлежности с потребителями, а также в точках технического учета электроэнергии в электрической сети в оперативном режиме, на основе информации, получаемой в темпе процесса с установленных на присоединениях подстанций средств измерений всех видов:

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

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- повышение точности и обоснованности результатов расчетов структурных составляющих балансов электроэнергии, технических и нетехнических потерь электроэнергии в сетях, в соответствии с уровнем обеспеченности их средствами измерений и/или учета электроэнергии;
- выявление мест и анализ причин повышенных технических и нетехнических потерь мощности и электроэнергии в сетях в целях принятия оперативных мер по их снижению;
- повышение качества исходной информации для планирования и реализации организационных и технических мероприятий по снижению технических и нетехнических потерь электроэнергии в электрических сетях;
- повышение эффективности использования технологической информации, предоставляемой средствами автоматизации для целей мониторинга, коммерческого и технического учета электроэнергии в сетях;
- переход от контроля уровня потерь в электрической сети в целом, к определению объекта с очагом потерь;
- формирование «карты потерь электроэнергии» на основе непрерывных расчетов технических потерь и формирования балансов электроэнергии с автоматическим оформлением результатов контроля.

Влияние технологий КФС на повышение эффективности электрических сетей. В настоящее время в мире активно разрабатываются, проходят опробование и внедряются технологии «интеллектуальных сетей». Европа, США, Китай и другие страны вкладывают миллиарды долларов и евро в развитие интеллектуальной энергетики, повышение надежности энергоснабжения, появление новых высокотехнологичных производств и рабочих мест.

В Узбекистане также разрабатываются и внедряются инициативы в области Smart Grid, являющейся структурой КФС. Их целью является отработка механизмов и внедрение технологии Smart metering с последующим расширением и трансфером опыта по отрасли [20-21]. Конечные цели участников процесса при внедрении технологии Smart metering представлены в табл.1.

Таблица 1

Ожидаемые результаты от внедрения технологии Smart metering в РУз

Государство	Генерация	Сети	Сбыт	Потребитель
1. Снижение энергопотребления; 2. Прозрачность структуры энергопотребления.	1. Снижение объема новых мощностей; 2. Сглаживание пиковых нагрузок.	1. Снижение потерь; 2. Сглаживание пиков; 3. Снижение операционных затрат.	1. Улучшение оборачиваемости задолженности; 2. Уменьшение числа обращений потребителей.	1. Более высокий уровень удовлетворенности качеством энергоснабжения; 2. Управление своим энергопотреблением (расходами).

Достижение этих целей планируется за счет улучшения характеристик системы учета энергоресурсов, построенной на базе технологии Smart metering:

- интервальный учет мощности (30...60 мин с возможностью установки произвольного периода интеграции мощности);
- отслеживание превышения лимитов нагрузки потребителей;
- измерение параметров качества электроэнергии (значение напряжения, частота, длительность провала напряжения, глубина провала напряжения, длительность перенапряжения);

- активное использование связи с приборами учета по силовой линии (PLC);
- минимальный период опроса приборов учета – 15 мин;
- удаленное (централизованное) управление приборами учета (ограничение/отключение);
- предоставление данных пользователю через Web-интерфейс (включая просмотр данных через мобильные устройства).

Очевидно, что подобные цели могут быть достаточно легко реализованы при развитии КФС.

Обсуждение. Объектом воздействия КФС в концепции Smart Grid является электроэнергия. От придания статуса данному объекту, то есть электроэнергии, зависит дальнейшее развитие концепции интеллектуальной энергетики вообще. Среди прочих возможных определений электроэнергии можно представить такие:

- электроэнергия – это товар (продукт);
- электроэнергия – это одно из составляющих конечного продукта/услуги (свет, тепло, связь и т. п.).

Выбор той или иной концепции определяет ценностную составляющую электроэнергии как предмета товарно-рыночных отношений, а также возможные варианты развития данных отношений и технологий, поддерживающих эти отношения.

При принятии концепции «электроэнергия – товар» к ключевым аспектам развития концепции Smart Grid можно отнести:

- Учет электроэнергии. Как и в любых товарно-денежных отношениях учет товара от стадии производства до стадии потребления (использования и утилизации). При этом будет учитываться количество, качество, характер происхождения (кто производитель, насколько экологично производство и т.п.).

- Хранение электроэнергии. Большинство товаров от стадии производства до стадии потребления проходят этапы хранения. Электроэнергия в этом плане исключение: генерация и потребления в общем случае должны быть синхронными процессами. С развитием ВИЭ, Microgrids, EV (электромобили) и т.п. мы непременно приходим к проблеме хранения электроэнергии в промышленных масштабах. Тренд очевиден уже сейчас. Безусловно, это станет стимулом развития новых технологий накопления электроэнергии большой емкости.

- Надежная, гибкая высокоскоростная связь между потребителем и поставщиком.

- Широкий спектр сырья для производства электроэнергии, а также методов производства. Для устойчивого развития рыночных отношений и возможности формирования более гибких предложений как по цене, так и по характеру поставщикам электроэнергии должны быть доступны широкие возможности по использованию источников генерации. Сосредоточение только на углеродном сырье или атомной энергетике накладывает существенные ограничения.

- Надежная поставка электроэнергии. К этому вопросу относится весь спектр технологических решений (силовое оборудование, средства автоматизации и т. п.), способствующих надежной гарантированной поставке товара –

электроэнергии. При этом уровень надежности поставки тоже может быть оценен и предложен в качестве дополнительной опции.

- Развитая инфраструктура, сервисы:
 - продажа, сбыт (биржа, финансовые инструменты и т.д.);
 - страхование, например, от сбоев в электроснабжении или плохого качества электроэнергии. (в настоящее время, в Узбекистане довольно трудно или невозможно получить компенсацию ущерба в связи с отключениями или поставкой некачественной электроэнергии);
 - обслуживание.

Таким образом, указанный вектор развития технологий интеллектуальной энергетики достаточно полно отражает имеющиеся в настоящее время в мире инициативы; построение КФС может ограничиться эволюционным развитием текущих технологий с неизбежной «инъекцией» инноваций, сохраняющих консервативный вектор отношений на развивающемся рынке электроэнергии.

Заключение. 1. Мировые тенденции развития и использования киберфизических систем характерны и для Узбекистана, но необходимы соответствующие компоненты: нормативно-правовые, экономические, научно-технические и другие, обеспечивающие развитие КФС, наличие которых является одной из важнейших задач для развития электроэнергетики страны.

2. Отличительной чертой использования КФС для проведения энергетических аудитов является возможность организации непрерывного мониторинга в темпе процесса и соответствующего оптимального управления с наименьшими потерями в распределительных электрических сетях 0,4 – 10 кВ.

3. Киберфизические устройства и системы позволяют управлять более эффективно сложными процессами в электроэнергетических системах, способствуя развитию широкого спектра новых технологий. Перед электроэнергетикой Узбекистана, наряду с другими задачами, стоит задача перехода на киберфизические методы, сложность которой усугубляется массовым использованием устаревших видов оборудования, недостатком передовых технологий и др. КФС являются детищем технического прогресса, их развитие требует обязательной координации усилий всех участников: науки, государства, бизнеса, производителей и потребителей электроэнергии.

Литература

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016, 208 с.
2. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений - ИСЭМ / отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2010. 686 с.
3. Интеллектуальное развитие электроэнергетики с участием активного потребителя / под ред. Бушуева В.В. М.: Энергия, 2013. 84 с.
4. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание второе, исправленное и дополненное. М.: ООО «Ком Ньюс Групп», 2019, 368 с.
5. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития / под ред. Салимова А.У. -Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi. 2021. 952 с.
6. Киберфизическая система <https://ru.wikipedia.org>.
7. Lee E.A. and Seshia S.A., "Introduction to Embedded Systems, Cyber-Physical Systems Approach", <http://LeeSeshia.org>, ISBN 978-0-557-70857-4, 2011.

8. Цветков В.Я., Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. 2017. 3 (27) projournal.wordpress.com/archive/17/17-03/ Дата публикации: 1.07.2017 № 3 (27). С. 55-60.
9. Iprakchi A, Albuyeh F. Grid of the future // IEEE Power and Energy Mag, 2009, № 7, С 52-62
10. Momoh JA. Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control // In: Power Systems Conference and Exposition, PSCE '09. IEEE/PES; 2009. С. 1-8.
11. Указ Президента Республики Узбекистан № УП-6079 от 05.10.2020 «Об утверждении стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" и мерах по её эффективной реализации».
12. Арипов А.Н. Узбекистан вступил в этап цифровой трансформации // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.sputniknews.uz.com/politics/20180204/7420594/Aripov-uzbekistan-vstupil-v-etap-tsifrovoyekonomiki.html> / (дата обращения: 10.03.2018).
13. Постановление Президента Республики Узбекистан от 02.09.2018 №ПП-3927 «Об образовании Фонда поддержки развития цифровой экономики "Цифровое доверие"».
14. Цифровая трансформация экономики предстоит Узбекистану // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://review.uz/uz/post/trendi/cifrova-transformaciaekonomiki-predstoit-uzbekistanu/> (дата обращения: 05.06.2018).
15. Насиров Т.Х., Сытдыков Р.А., Радионова О.В. Разработка экспертной системы для управления режимами электроэнергетических систем. // Проблемы информатики и энергетики. 2002, №3. С.21-26.
16. Указ Президента Республики Узбекистан №УП-6010 от 18 июня 2020 г «О дополнительных мерах по совершенствованию механизма реализации природного газа и электрической энергии».
17. Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии» (апрель 1997).
18. Типовая программа проведения энергетических обследований гидроэлектростанция и электрических сетей. // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. Ташкент. 2006. - №3. - С. 75-103.
19. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш., Ситдиқов Р.А., Васильев В.Г. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. – Т.: Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи. 2020. - 276 с.
20. Интернет ресурс. <https://www.prom.uz/ads/15710/aktivno-adaptivnye-elektroseti-smart-grid/>.
21. Осика, Л.К. Расчетные методы интеллектуальных измерений Smart Metering в задачах учета и сбережения электроэнергии: практическое пособие [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2013. — 422 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

ПЛАНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
ЖИВОТНОВОДСТВА И ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕОБХОДИМОГО
МИКРОКЛИМАТА В НИХ

Н.Р. Авезова, А.Ю. Усманов, М.А. Куралов

Ушбу мақолада чорвачилик объектларини оптимал режаслаштириши ва зарур микроқлимни таъминлаш учун ҳажми 6000 м³ ва 300 бош қорамол бўлган чорва моллари учун шамоллатиши ва иссиқлик таъминоти тизимларининг асосий иссиқлик муҳандислик параметрларини ҳисоблаш тадқиқотлари натижалари келтирилган. Кўриб чиқилаётган сигирхонада микроқлим яратиши учун зарур бўлган иссиқлик энергиясининг ўртача йиллик миқдори аниқланади, бу 325193,4 кВт*соат ва бинода микроқлим яратиши учун зарур бўлган ёқилғи (табиий газ) миқдори 61212,6 м³., бунда биогазга асосланган ҳаво иситиши мосламаси таклиф этилди, биогаз ҳаво иситкичининг самарадорлик коэффициенти $\eta_{\text{ҳав.исит.}} = 0,8-0,9$; q_{δ_2} - биогазнинг калорифик қиймати, яъни иссиқлик узатиши $q_{\delta_2} = 20-25$ МЖ/м³.

В данной работе представлены результаты расчетных исследований основных теплотехнических параметров систем вентиляции и теплоснабжения животноводческого помещения коровника с объемом 6000 м³ и 300 голов крупного рогатого скота с целью оптимального планирования объектов животноводства и обеспечения необходимого микроклимата в них. Определены среднегодовое количество необходимой тепловой энергии для создания микроклимата в рассматриваемом коровнике, которое составляет 325193,4 кВт*час и количество топлива (природный газ), необходимое для создания микроклимата в здании, которое составляет 61212,6 м³, при этом в качестве установки для нагрева воздуха предложена установка на основе биогаза, где $\eta_{\text{воз.наг}} = 0,8-0,9$ КПД биогазового воздухонагревателя; q_{δ_2} - теплота сгорания биогаза, т.е. теплоотдача $q_{\delta_2} = 20-25$ МДж/м³.

This paper presents the results of calculations of computational studies of the main thermal engineering parameters of ventilation and heat supply systems in a livestock barn with a volume of 6000 m³ and 300 heads of cattle in order to optimally plan livestock facilities and provide the necessary microclimate in them. The average annual amount of thermal energy required to create a microclimate in the barn under consideration is determined, which is 325193.4 kWh and the amount of fuel (natural gas) required to create a microclimate in the building, which is 61212.6 m³., while as an installation for air heating installation based on biogas is proposed, where $\eta_{\text{air.heat.}} = 0.8-0.9$ efficiency factor of biogas air heater; q_{biogas} - calorific value of biogas, i.e. heat transfer $q_{\text{biogas}} = 20-25$ MJ/m³.

Введение. Одним из ключевых элементов повышения эффективности производства продукции животноводства является обеспечение рациональных параметров микроклимата в помещениях для их содержания.

Климат Республики Узбекистан является резко-континентальным, но глобальные климатические изменения, происходящие во всем мире в последние годы, также в значительном уровне повлияли на нашу страну: лето стало очень жарким, а зима - менее холодной. Согласно исследованиям, в течение последнего десятилетия среднемесячная температура наружного воздуха в северных регионах страны в холодный и теплый периоды года варьировалась от -12°C до $+35,5^{\circ}\text{C}$, а в южных регионах от $+3^{\circ}\text{C}$ до $38,5^{\circ}\text{C}$, соответственно [1,2].

Критический анализ и статистические данные показывают, что главной причиной экономических потерь в животноводстве в условиях повышенных температур является снижение адаптивных способностей организма животных в поддержании температурного баланса тела и толерантности к тепловому стрессу.

По данным [3], рогатый скот на примере коров, из-за интенсивных обменных процессов подвержен тепловому стрессу, который начинает проявляться при увеличении температуры воздуха выше 24°C и относительной влажности 50%. Возникающие при этом нарушения в терморегуляционных способностях крупного рогатого скота приводят к физиологическим, поведенческим и продуктивным изменениям.

Снижается потребление корма на 10-30%, уменьшается двигательная активность на 20-50%, снижается до 35% молочная продуктивность, угнетаются репродуктивные функции, а 10-15% рожденных при этом телят зачастую рождаются больными и имеют в последствии пониженные продуктивные показатели [3].

В последнее двадцатилетие в республике промышленное молочное скотоводство развивается по пути строительства высокомеханизированных коровников с беспривязным содержанием животных в зданиях без обогрева, в которых за счет организации естественного воздухообмена практически полностью удаляются вредные составляющие воздуха, такие как – углекислый газ, сероводород, аммиак, пыль [3]. Вместе с тем, крайне важными для животных остается влияние таких параметров как температура и влажность воздуха, скорость его движения, солнечная радиация, особенно для теплого периода года, которые желательно поддерживать в пределах физиологических норм [4,5].

Развитие молочного скотоводства во многих государствах идет за счет изменения в организации и технологий этой отрасли, внедряя комплекс мероприятий по повышению качества кормления и содержания рогатого скота [6]. Повышение продуктивности сельскохозяйственных животных невозможно без обеспечения взаимоотношений организма с окружающей средой, а также отметим, что только в оптимальных условиях наиболее полно проявляется их продуктивность [7-10]. Отклонение параметров микроклимата в зданиях животноводства от определенных стандартных предельных значений приводит к снижению удоев у коров на 10 -20 %, уменьшению приростов живой массы на 20-30 %, увеличению падежа молодняка на 5-40 %, снижению продуктивности на 30-35 %, сокращению жизненного цикла на 15 - 20 %, увеличению затрат на корма и рабочую силу на единицу продукции, уменьшение срока службы в три раза животноводческих зданий [11-17].

В связи с этим исследования по оптимальному планированию объектов животноводства и обеспечению необходимого микроклимата в них, а также расчет их технико-эксплуатационных и энергетических параметров для определения показателя энергосбережения в системах вентиляции и горячего водоснабжения с учетом использования технологий на основе возобновляемой энергии является весьма актуальной задачей для строительства последнего в отдаленных регионах республики.

В настоящем сообщении приведены результаты расчетных исследований основных теплотехнических параметров систем вентиляции и теплоснабжения животноводческого помещения коровника с объемов 6000 м³ и 300 голов крупного рогатого скота.

Методика и материалы. В настоящей части сообщения предложена методика расчета показателей теплоемкости воздухообмена и системы отопления на примере коровников, предназначенных для содержания крупного рогатого скота, где применяется система воздушного отопления, совмещенная с вентиляцией.

Как нам известно, параметры входящего воздуха в коровник определяется допустимой концентрацией угольной кислоты, а также максимально допустимой концентрацией и максимальным количеством испарения воды. В этом случае из помещения коровника выделяется небольшое количество аммиака, диоксида серы и т. д., а вредные вещества удаляются.

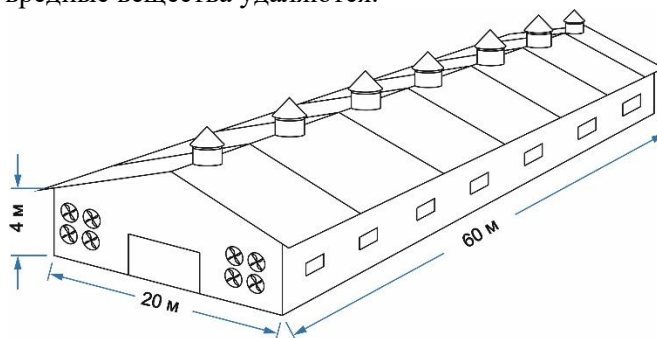


Рис.1. Принципиальная схема животноводческого помещения

Расход воздуха, необходимый для снижения концентрации угольной кислоты в коровнике рассчитывается по формуле [18]:

$$L_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^k C_i n_i}{C_1 - C_2}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (1)$$

где C_i - количество углекислого газа, выделяемого одним видом животных или птиц, $C_i=47$ л/ч; n_i - количество видов животных или птиц в здании; K - количество видов, C_1 - предельно допустимая концентрация углекислого газа в воздухе коровника, $C_1 = 2$ л/м³; C_2 - концентрация углекислого газа в наружном воздухе $C_2 = 0,35$ л/м³ ($C_2 = 0,3 \dots 0,4$).

Расход воздуха L_W , необходимый для удаления водяного пара в коровнике определяется по формуле [18]:

$$L_W = \frac{W}{d_n \rho_n \varphi_n - d_{\text{вн}} \rho_{\text{вн}} \varphi_{\text{вн}}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2)$$

где W — суммарное влаговыделение в помещении для животных, г/ч; $\rho_{\text{вн}}$, ρ_n - плотность воздуха внутри и снаружи здания, соответственно, $\rho_{\text{вн}} = 1,189$, $\rho_n =$

1,378 кг/м³; $\varphi_{в}$, $\varphi_{н}$ - влажность внутри и снаружи коровника соответственно, $\varphi_{в} = 0,7$, $\varphi_{н} = 0,85$; $d_{в}$, $d_{н}$ - влагосодержание внутреннего и наружного воздуха, определяем $d_{в} = 9,5$, $d_{н} = 0,8$ г/кг.

Плотность воздуха в коровнике определяется из зависимости [18]:

$$\rho = \frac{346}{273+t} * \frac{P}{99,3}, \text{ кг/м.} \quad (3)$$

где P - расчетное атмосферное давление в данном месте (регионе), кПа.

Суммарное влаговыделение в помещении, W , г/ч. определяется по формуле:

$$W = W_{жив} + W_{исп}. \quad (4)$$

где $W_{жив}$ - влаговыделение животными, г/ч; $W_{исп}$ - влага, испаряющаяся с мокрых поверхностей помещения, г/ч.

Влага, ($W_{жив}$) выделяемая животными, определяется по формуле:

$$W_{жив} = n W_0 K_1, \quad (5)$$

где $W_0 = 151$ г/ч выделение водяных паров одним животным; $K_1 = 1,35$ коэффициент, учитывающий изменение количества выделяемых животными водяных паров в зависимости от температуры воздуха внутри помещения.

Влага, испаряющаяся с мокрых поверхностей помещения ($W_{исп}$), определяется по формуле:

$$W_{исп} = \xi W_{жив}, \quad (6)$$

где $\xi = 0,10 \dots 0,25$ коэффициент для крупного рогатого скота

Кратность воздухообмена при этом равно, 1/ч:

$$K = L/V, \quad (7)$$

где $V = 6000$ м³ - объем здания.

Как уже указана выше в коровнике применяется система воздушного отопления, совмещенная с вентиляцией.

Теплоемкость системы воздушного отопления ($\Phi_{мен}$) - это уравнение теплового баланса для холодного периода года [19] и определяется на основе следующего выражения:

$$\Phi_{мен} = \Phi_{ис} + \Phi_{вен} + \Phi_{исп} - \Phi_{жив}. \quad (8)$$

Потери тепла через наружные стены ($\Phi_{ис}$) здания коровника определяется по формуле:

$$\Phi_{ис} = q_{мен} V_{зд} (t_{вн} - t_{нар}), \text{ Вт,} \quad (9)$$

где, $q_{мен}$ специфические теплотехнические характеристики здания, $q_{мен} = 0,407$ Вт/(м³°C).

Тепловой поток, используемый для нагрева воздуха ($\Phi_{вен}$), необходимого для обогрева здания коровника определяется по следующей формуле:

$$\Phi_{вен} = 0,278 L \rho C_p (t_{вн} - t_{нар}), \text{ Вт,} \quad (10)$$

где L — расчетный воздухообмен помещения, м³/ч; $\rho = 1,223$ кг/м³ плотность воздуха, $t_{вн} = 18$ и $t_{нар} = -22^\circ\text{C}$ при постоянной температуре, $C_p = 1$ кДж/кг·°C - удельная теплоемкость воздуха.

Тепловой поток, потребляемый влагой, испаряющейся с влажных поверхностей здания ($\Phi_{исп}$) определяется на основе следующей формулы:

$$\Phi_{исп} = 0,278 * 2,49 W_{исп}, \text{ Вт,} \quad (11)$$

где 2,49 - скрытая теплота парообразования воды; $W_{исп}$ - масса влаги из емкости (корыта) с водой, из которой животные пьют, и из емкости для кормления.

Мощность теплового потока, выделяемая животными, $Вт$, определяется по формуле:

$$\Phi_{жив} = n q K_t, \quad (12)$$

где, $q = 263 Вт$ - поток свободной теплоты, выделяемой одним животным; $K_t = 0,75$ коэффициент, учитывающий изменение тепловыделений в зависимости от температуры воздуха в помещении.

Определение годового расхода топлива системы вентиляции теплоснабжения коровника

Расход тепла на горячее водоснабжение животноводческого помещения в холодный период года.

Определяем среднюю теплоемкость системы горячего водоснабжения по среднесуточной норме горячей воды:

$$\Phi_{сп.ГВС}^{ден} = \frac{c_w q_{гв} n (t_{гв} - t_{хв})}{24 * 3600} кВт, \quad (13)$$

где: $c_w = 4,19 кДж/(кг * ^\circ C)$ - теплоемкость воды; $q_{гв} = 4,5 кг/сут$ норма суточного потребления горячей воды для животных; n - количество животных в этой группе; $t_{гв} = 60^\circ C$ температура горячей воды; $t_{хв} = 5^\circ C$ температура холодной воды. Так как были выбраны расчеты на 300 голов рогатого скота, средняя теплоемкость системы горячего водоснабжения по среднесуточной норме горячей воды будет равна 3,6 кВт по (2.1).

Годовой расход тепла на микроклимат в животноводческом помещении

Для определения количества годового потребления тепловой энергии с целью создания микроклимата в животноводческом помещении, используем график потребления последнего в следующем порядке:

- поскольку тепловой поток, теряемый через внешние стены здания, прямо пропорционален температуре наружного воздуха, получаем зависимость в виде функции $\Phi_{нс} = f(t_{нар})$ которая представляет линию, проходящую через две точки:

а) $\Phi = 0$; $t = t_{нар} = 15^\circ C$; б) $\Phi = \Phi_{нс} = 97,68 кВт$, $t_{нар} = -22^\circ C$;

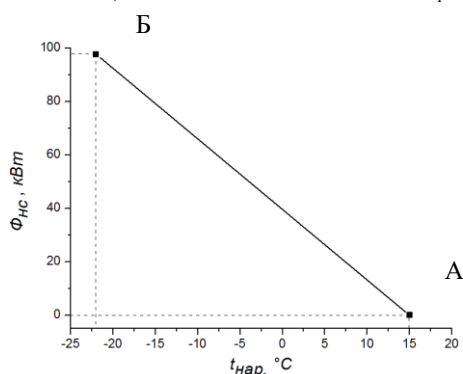


Рис. 2. Тепловой поток, теряемый через внешние стены в зависимости от температур с наружи

где: А и В точки зависимости теплового потока теряемый через внешние стены в зависимости от температуры с наружи, $t_{нар}$ – температура наружного воздуха, $\Phi_{нс}$ - тепловой поток, необходимый для нагрева воздуха;

- График зависимости теплового потока, идущего на обогрев воздуха, поступающего в здание, от температуры наружного воздуха проводится через три точки:

- $\Phi = \Phi_{вен} = 171,8 \text{ кВт}, t = t_{ср.хд} = -30^{\circ}\text{C};$
- $\Phi = \Phi_{вен} = 93,1 \text{ кВт}, t = t_{нар} = -8^{\circ}\text{C};$
- $\Phi = 0, t = t_{нар} = 10^{\circ}\text{C};$

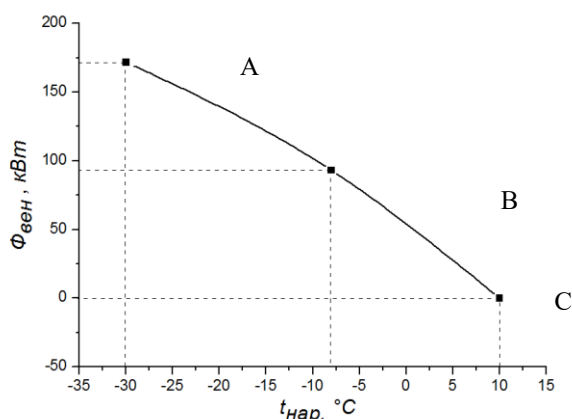


Рис. 3. График зависимости теплового потока, используемого для обогрева воздуха, поступающего в здание, от температуры наружного воздуха

Здесь: А, В и С - точки зависимости теплового потока, используемого для обогрева воздуха, поступающего в здание, от температуры наружного воздуха, $t_{ср.хд} = -30^{\circ}\text{C}$ средняя температура самых холодных дней в холодный период года месяцы ноябрь-январь [4].

- Тепловой поток, затрачиваемый на испарение влаги с влажной поверхности здания, не зависит от температуры наружного воздуха, поэтому принимается $\Phi_{исп} = const$.

- Тепловой поток, излучаемый животными, также не зависит от температуры наружного воздуха, $\Phi_{жив} = const$. Поскольку этот тепловой поток создается внутри здания, он проходит ниже оси абсцисс.

В связи с выше указанным расчетом общий тепловой поток, используемый для обогрева здания имеет вид:

$$\sum \Phi = \Phi_{нс} + \Phi_{вен} + \Phi_{исп} - \Phi_{жив}. \quad (14)$$

По графику определяется тепловая мощность системы отопления здания в зависимости от средней температуры по месяцам.

Количество суммарного тепла определяется по формуле:

$$\sum \Phi = \Phi_{нс} + \Phi_{вен}, \text{ Вт}. \quad (15)$$

Ежемесячный расход тепла на создание микроклимата в каровнике рассчитывается по формуле:

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

$$Q_{мен}^{мес} = \sum \Phi \tau_{мес}, \text{ кВт*час}, \quad (16)$$

где $\tau_{мес} = 720$ часов - количество часов в рассматриваемом месяце.

Количество топлива (природный газ), необходимое для создания микроклимата в здании, определяется выражением:

$$q_{бг}^{мес} = \frac{3,6 Q_{мен}^{мес}}{\eta_{воз.наг} q_{бг}}, \text{ м}^3. \quad (17)$$

где: $Q_{мен}^{мес}$ - количество тепла, необходимое для создания микроклимата, в качестве установки для нагрева воздуха рассматриваем установку на основе биогаза, где $\eta_{воз.наг} = 0,8-0,9$ КПД биогазового воздухонагревателя; $q_{бг}$ - теплота сгорания биогаза, т.е. теплоотдача $q_{бг} = 20-25 \text{ МДж/м}^3$.

Далее определяем годовой спрос на биогаз, для систем вентиляции и теплоснабжения животноводческого помещения коровника, по формуле:

$$q_{бг}^{год} = \sum q_{бг}^{мес} \cdot (\text{м}^3). \quad (18)$$

При выполнении расчетных исследований на основе выше указанных выражений, получаем следующие результаты по количеству необходимого объема биогаза за отопительный период года, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Количество биогаза, необходимое по месяцам

месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
$t_{ср.} (^{\circ}\text{C})$	-5,7	-4,8	0,6	9,4	16,2	20,2	23	22,1	16,3	9,2	2,5	-2,6	
$\Phi_{мен}$, (кВт)	81,4	78,4	61,3	29,6	0	0	0	0	0	30,2	53,3	70,8	
$\sum \Phi$, (кВт)	85	82	65	33,2	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	33,8	56,9	74,4	
$Q_{мен}^{мес}$, (кВт*час)	63272,3	55070,9	48290	23870	2679	2593	2679	2679	2593	25177,8	40942,8	55346,6	325193,4
$q_{бг}^{мес}$ (м ³)	11910	10366	9090	4493,3	504,3	488	504,3	504,3	488	4739,3	7706,9	10418,2	61212,6

Как видно из табл. 1. годовой расход тепла на создание микроклимата в коровнике составляет 325193,4 кВт*час, при этом количество топлива (природный газ), необходимое для создания микроклимата в здании составляет 61212,6 м³.

Закключение. В данной работе представлены результаты расчетных исследований основных теплотехнических параметров систем вентиляции и теплоснабжения животноводческого помещения коровника с целью оптимального планирования объектов животноводства и обеспечения необходимого микроклимата в них и определены следующие параметры:

1. Количество необходимого расхода воздуха для снижения концентрации угольной кислоты составляет 8545,5 м³/ч;

2. Количество расхода воздуха, необходимый для удаления всего водяного пара из здания составляет 73,39 кг/ч;

3. Количество тепловых потерь через наружные стены здания за холодный период года составляет 97,68 кВт;

4. Средняя тепловая мощность системы горячего водоснабжения по среднесуточной норме горячей воды составляет 3,6 кВт.

Полученные результаты на основе расчетных исследований основных теплотехнических параметров систем вентиляции и теплоснабжения

животноводческого помещения коровника с объемом 6000 м³ и 300 голов крупного рогатого скота, будут служить основой для оптимального планирования и проектирования объектов животноводства, в которых в качестве топлива для рассматриваемых систем будет использован биогаз, полученный из биогазовых установок, при этом основные весогабаритные и теплотехнические параметры биогазовой установки также будут определены из потребности отапливаемого здания.

Литература

1. Renewable capacity statistics 2020 International Renewable Energy Agency (IRENA) [Текст] [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>, -Abu Dhabi Renewable Capacity Statistics 2020.
2. Погода в Ташкенте [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.meteotrend.com/forecast/uz/tashkent>.
3. В.Г. Борулько, Методы и технические средства обеспечения параметров микроклимата коровника, Автореферат, диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Москва, 2021.
4. Здания и Сооружения для Крупного рогатого скота нормы проектирования, СНиП II-Н.5-65.
5. Отопление, Вентиляция и Кондиционирование воздуха нормы проектирования, СНиП II-Г.7-62.
6. В.Ю. Фролов, С.М. Сидоренко, Д. П. Сысоев, А. В. Бычков, Машины и технологии в молочном животноводстве: учеб. пособие / Краснодар, с.388, 2013.
7. О.Ю. Ежова, А.Я. Сенько, Ю.Ю. Астахова, В.Г. Борулько, Влияние использования источников освещения различного типа в промышленном птицеводстве на продуктивные качества кур-несушек, Известия Оренбургского государственного аграрного университета. №5 (79), стр.268-269, 2019.
8. А.Г. Ибрагимов, В.Г. Борулько, Н.А. Сергиенкова, Эффективность мясного скотоводства в России // *Экономика и предпринимательство*, №8. стр. 233-236, 2020.
9. В.И. Баланин, Зоогигиенический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях /- Л.: Агропромиздат, отд., с.144, 1988.
10. Л.И. Бронфман, Методы и средства формирования регионального микроклимата в животноводческих помещениях: автореф. дис. д-ра техн. наук. / Челябинск, с.41, 1990.
11. Г.К. Волков, А.А. Кизеров, и др. Рекомендации по улучшению микроклимата в животноводческих помещениях / Челябинск, с.182, 1985.
12. К.А. Гарькавый, Исследования тепловлажностного режима животноводческих помещений и разработка энергосберегающих мероприятий для обеспечения микроклимата: дис.к-та техн. наук / - Ростов н/д., с.131, 2003.
13. Ю.А. Иванов, Н.Н. Новиков, Повышение качества среды обитания животных на основе совершенствования управления оборудованием систем микроклимата // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства, № 3 Вып. 11, стр. 44-51, 2013.

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

14.В.Ф. Комогорцев, А.И. Купреенко, Х.М. Исаев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения, № 1 (16), стр. 262-266, 2017.

15.Ю. Матюхина, Сравнение продуктивности новых и реконструированных молочных ферм. Основные критерии комфортного содержания животных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dairynews.ru>.

16.Б.В. Ходанович, Проектирование и строительство животноводческих объектов: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 110401 "Зоотехния"// - Санкт-Петербург Лань, с.287, 2012.

17.Живодноводческие, птицеводческие, звероводческие здания и сооружения. КМК 2.09.07-96.

18.А.А. Захаров. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве. Москва "Агропромиздат", 1985.

19.Б.Х. Драганов, С.А. Ковалев, В.А. Лазоренко, А.А. Марченко, А.Г. Цубанов, В.А. Коротиненский. Курсовое проектирование по теплотехнике и применению теплоты в сельском хозяйстве. Москва "Агропромиздат" 1991.

*Представлено Физико-техническим институтом
Академии наук Республики Узбекистан*

УДК-621.311.21

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ,
АДАПТИРОВАННОЙ К НИЗКОНАПОРНЫМ ВОДОТОКАМ****Р.А. Мамедов, Г.Н. Узакков, А.Б. Сафаров, И.А. Хатамов**

*Ushbu maqolada Buxoro viloyati hududida joylashgan irrigatsiya tizimining gidroenergetika salohiyati resurslarini baholash natijalari, past bosimli suv oqimlarida samarali ishlashga moslashtirilgan mikrogidroelektrostantsiyani loyihalash hamda modellashtirish natijalari keltirilgan. Sug'orish kanalidagi suv sathining o'zgaruvchanligini hisobga olgan holda, elektr energiyasini uzluksiz ishlab chiqarish uchun panton shaklida suzuvchi bazadan foydalanish imkoniyatlari asoslanadi. Mikrogidroelektrostantsiyaning konstruktiv o'lchamlari va energiya parametrlarining suv oqimi tezligi va darajasining o'zgarishiga bog'liqligini tavsiflovchi matematik modellar va algoritmlar ishlab chiqilgan. Pichoqning old qismi bilan o'zaro ta'sirlashganda suv oqimining kuchini oshirish va pichoqning orqa tomonidan o'zaro ta'sir qiladigan suv g'ildiragining harakatiga to'sqinlik qiladigan kuchlarni kamaytirish uchun pichoqlarning qiyalik burchagining maqbul qiymatini aniqlash usuli taklif etiladi.. Past aylanish tezligida elektr energiyasini barqaror ishlab chiqarish imkonini beruvchi ko'p qutbli elektr generatorini modellashtirish natijalari keltirilgan. Buxoro viloyati irrigatsiya tizimining suv sarfi 1-4 m/s oralig'ida o'zgarishi aniqlandi. Buxoro viloyati irrigatsiya tizimining gidroenergetika salohiyati resurslari Energiya daraxti usuli asosida 202,4 GVt*soatga baholandi. Sug'orish kanalining past bosimli suv oqimlariga moslashtirilgan quvvati 1,5 kVt bo'lgan mikrogidroelektrostantsiyaning energiya parametrlari natijalarini olishda Matlab/Simulink tizimida yaratilgan simulyatsiya modelidan foydalanildi. Geometrik qonunlarga asoslanib, suv g'ildiragi pichoqlarining optimal qiyalik burchagi aniqlandi, $\beta=30$ ga teng. Simulyatsiya asosida turli xil suv oqimlarida suv g'ildiragi samaradorligining maksimal qiymati 32% ni tashkil etishi aniqlandi. Yaxshilangan past tezlikda ishlaydigan elektr generatoridan foydalanish energiya ishlab chiqarishni 25% ga oshirish imkonini beradi. Buxoro viloyati sug'orish tizimining past bosimli suv oqimlariga moslashtirilgan ushbu mikrogidroelektrostantsiyadan foydalanish markazlashgan elektr ta'minotidan uzoqda joylashgan mahalliy iste'molchilarni ishonchli va uzluksiz elektr energiyasi bilan ta'minlash imkonini bermoqda.*

В данной статье представлены результаты оценки ресурсов гидроэнергетического потенциала ирригационной системы, расположенной на территории Бухарской области, проектирования микрогидроэлектростанции адаптированной для эффективной работы в низконапорных водотоках, а также результаты моделирования. Учитывая изменчивость уровня воды в оросительном канале обоснованы возможности использования плавучего основания в виде понтонов для непрерывной выработки электроэнергии. Разработаны математические модели и алгоритмы, описывающие зависимость конструктивных размеров и энергетических параметров

микрогидроэлектростанции от скорости и изменения уровня потока воды. С целью увеличения силы потока воды при взаимодействии о переднюю часть лопасти и уменьшения сил препятствующей движению водяного колеса, взаимодействующего с обратной стороны на лопасти, предложена методика определения оптимального значения угла наклона лопастей. Представлены результаты моделирования многополюсного электрогенератора, позволяющего стабильно вырабатывать электроэнергию при малых скоростях вращения. Было установлено, что скорость потока воды оросительной системы Бухарской области изменится в диапазоне 1-4 м/с. Ресурсы гидроэнергетического потенциала ирригационной системы Бухарской области были оценены 202,4 ГВт·ч на основании метода «Энергетического дерева». При получении результатов энергетических параметров микрогидроэлектростанции мощностью 1,5 кВт, адаптированной к низконапорным водотокам оросительного канала, была использована имитационная модель, созданная в системе Matlab/Simulink. На основании геометрических законов был определен оптимальный угол наклона лопастей водяного колеса, равный $\beta=30^\circ$. Путем моделирования установлено, что максимальное значение КПД водяного колеса при различных скоростях потока воды составляет 32 %. Применение усовершенствованного тихоходного электрогенератора позволяет увеличить выработку энергии на 25%. Использование данной микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам ирригационной системы Бухарской области, позволяет обеспечить локальных потребителей, расположенных вдали от централизованного электроснабжения надежной и бесперебойной электроэнергией.

This article presents the results of assessing the resources of the hydropower potential of the irrigation system located on the territory of the Bukhara region, designing a micro hydro power plant adapted for efficient operation in low-pressure watercourses, as well as modeling results. Taking into account the variability of the water level in the irrigation canal, the possibilities of using a floating base in the form of pontoons for continuous generation of electricity are substantiated. Mathematical models and algorithms have been developed that describe the dependence of the structural dimensions and energy parameters of a micro hydro power plant on the speed and change in the level of water flow. In order to increase the force of the water flow when interacting with the front part of the blade and reduce the forces that prevent the movement of the water wheel interacting from the back side of the blade, a method is proposed for determining the optimal value of the angle of inclination of the blades. The results of simulation of a multi-pole electric generator, which allows stable generation of electricity at low rotation speeds, are presented. It was found that the water flow rate of the irrigation system of the Bukhara region will change in the range of 1-4 m/s. The resources of the hydropower potential of the irrigation system of the Bukhara region were estimated at 202.4 GWh based on the Energy Tree method. When obtaining the results of the energy parameters of a micro hydro power plant with a capacity of 1.5 kW adapted to low-pressure watercourses of an irrigation canal, a simulation model created in the Matlab/Simulink system was used. Based on geometric laws, the optimal angle of inclination of the water wheel blades was determined equal to $\beta=30^\circ$. Based on the simulation, it was found that the maximum value of the water wheel effi-

ciency at various water flow rates is 32%. The use of an improved low-speed electric generator allows you to increase energy production by 25%. The use of this micro hydro power plant adapted to low-pressure watercourses of the irrigation system of the Bukhara region can provide local consumers located far from the centralized power supply with reliable and uninterrupted electricity.

Введение. В мире на сегодняшний день стремительное увеличение населения Земли послужило росту потребления электроэнергии, что привело к истощению природных ресурсов и изменению климата в результате сжигания природного топлива для выработки электроэнергии [1]. На разрешение этих проблем обратили своё внимание исследовательские институты, проявляющие большой интерес направленный на повышение доли электроэнергии выработанной из возобновляемых источников энергии [2].

По данным отчета Renewables 2020 Global Status Report, доля выработки электроэнергии из возобновляемых источников энергии, таких как ветер, геотермальная энергия, биомасса, Солнце и гидроэнергетика составляет 27,3% [3]. Гидроэнергетика является крупнейшим в мире возобновляемым источником энергии, и составляет 15,9% всей вырабатываемой электроэнергии на планете оставляя на энергию Солнца и ветра долю в 8 процентов. В последнее годы для эффективного применения возобновляемых источников энергии, наряду с фотоэлектрическими, ветровыми, геотермальными и т.д. широкое применение получили малые гидроэлектростанции, применяемые как в водозаборных конструкциях [4] с высоким напором воды, так и в слаботочных водотоках рек, оросительных каналов [5-7]. На рис. 1 приведена доля возобновляемых источников энергии в мировом производстве электроэнергии.

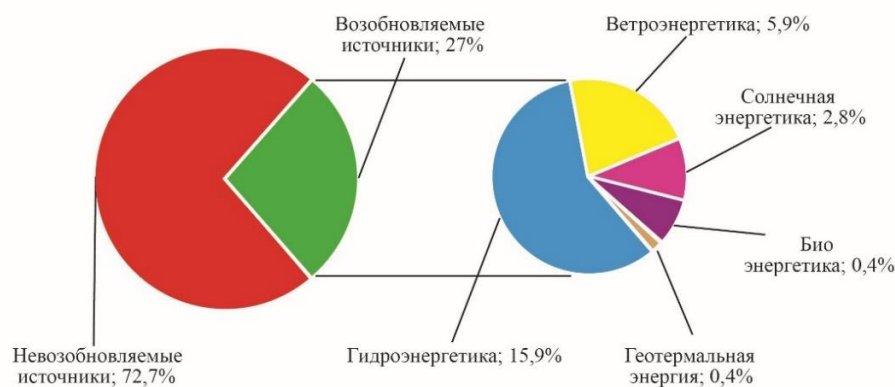


Рис. 1. Доля возобновляемых источников энергии в мировом производстве электроэнергии

Согласно отчету International Hydropower Association пятерку лидеров по установленной мощности в 2020 году замкнули Китай (13760 МВт), Турция (2480 МВт), Индия (478 МВт), Ангола (401 МВт) и Россия (380 МВт). Узбекистан в этом рейтинге на период 2020 года занял 24 строчку с установленной мощностью 71 МВт [8].

Обзор литературы. Известно, что для обеспечения эффективной работы гидротурбин, важную роль оказывают их рабочие колеса. Гидротурбины подразделяются на активные, реактивные, винты Архимеда и водяные колёса [9,10].

Мощность гидротурбины характеризуется расходом воды, протекающей через турбину и рабочим напором. На рис. 2 показан график, показывающий область применения различных видов турбин, на которую следует ориентироваться, если необходимо улучшить выходную мощность и экономические показатели гидроэнергетики с очень низким напором. Из графика видно что, для эффективной работы при малых потоках воды (рек, оросительных каналов) широкое применение получили водяные колёса [11].

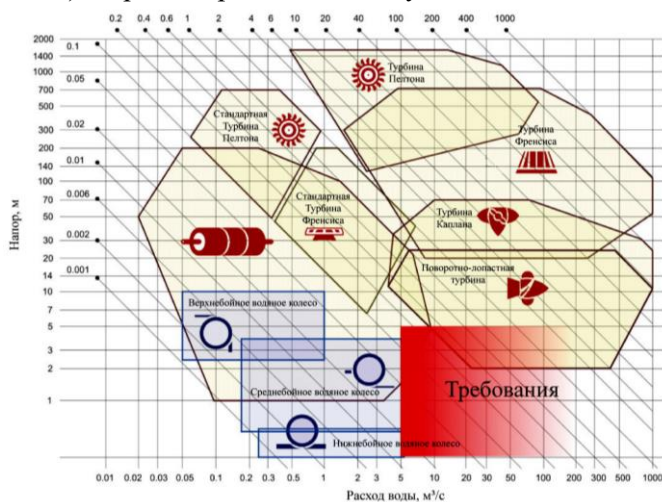


Рис.2. Область применения турбин различных видов

Из-за малого срока окупаемости и хорошей экологической устойчивости использование микрогидроэлектростанций с низким напором получили широкое применение во всем мире. Водяные колеса используются на объектах микрогидроэнергии с напором менее 6 м и расходом воды в несколько кубических метров.

Ниже проанализированы научно-исследовательские работы, по разработке микрогидроэлектростанций с водяными колёсами.

Дж.Р. Ганди и др. в своем исследовании представили гидроэнергетическую установку, содержащую водяное колесо, установленное на плавучем основании. В данной конструкции был применен тихоходный электрогенератор, за счёт которого была обеспечена эффективная работа гидроэнергетической установки в низконапорных водотоках [12]. Г. Мюллер и др. своё исследование посвятили вопросам эффективности плавучих водяных колес и их воздействие на окружающую среду, а также пути по улучшению этой ситуации. Основными недостатками водяного колеса является низкий КПД и малая скорость вращения около 4 - 6 об/мин, что и послужило сокращению использования данного типа гидроэлектростанции. Исследователями было предложено увеличить количество лопастей с 8 до 24, что послужило увеличению эффективности от 25% до 42%. Также было установлено, что лопасти прямоугольной формы, полностью погруженные в воду, обладают коэффициентом со-

противления (drag factor) $C_d=2$, что также увеличивает эффективность от 10% до 46%. Можно сделать вывод, что водяные колёса могут стать решением для децентрализованного производства электроэнергии в отдалённых районах за счёт своей простоты и низкой стоимости [13]. В 2018 году в Саутгемптонском университете со стороны Э. Куарантаа и Г. Мюллер была проведена серия модельных испытаний с целью установления и анализа рабочих характеристик экспериментов водяных колёс Sagebien и Zuppringer при напоре воды от 0,3 до 1,5 м, а также даны рекомендации по их применению. Максимальный КПД для обоих типов колёс достиг 84%. Также был установлен максимальный расчётный расход воды 1,2 м³/с на метр ширины, а тангенциальная скорость колеса не должна превышать 1,2 м/с [14]. Г. Мюллер и К. Волтер посвятили своё исследование водяным колёсам типа Zuppringer, эффективно работающим в слаботочных водотоках с напором воды от 1,2-2,5 м, расхода воды 0,3-5 м³/с. Исследование показало, что водяное колесо диаметром 4,5-7,7 м, обладает скоростью вращения турбины 4-6 об/мин с установленной мощностью 3-100 кВт. При этом КПД данного водяного колеса составил 70-80%, что является отличным решением для выработки электроэнергии в слаботочных водотоках [15]. Д. Аданта и др. в своём исследовании разработали конструкцию нижнебойного водяного колеса. В данном исследовании были рассмотрены аналитические методы для определения количества лопастей из предложенных 6, 7, 8, 9 и 10 лопастей водяного колеса и работе при различных скоростях входящего потока воды 1 м/с, 3 м/с и 5 м/с. По результатам исследования, было установлено, что водяное колесо является наиболее эффективным при скорости потока воды 1 м/с (эффективность 46%) и 5 м/с (эффективность 14%) [16]. Турнок и др. в своём исследовании разработали микрогидроэлектростанцию с плавучим основанием, предназначенную для работы в слаботочных водотоках. Было установлено, что эффективность данной конструкции не изменяется с изменением уровня воды, за счёт применения плавучего основания [17]. Д.Б. Кодиров разработал энергоэффективную микрогидроэлектростанцию для низконапорных водотоков. Предложена микрогидроэлектростанция, предназначенная для работы в низконапорных водотоках ирригационного канала. Исследователем были приведены технические и энергетические показатели водяного колеса, работающего при малых потоках воды следующим образом: Внешний диаметр колеса 2 м, внутренний диаметр 1 м, количество лопастей 12, скорость вращения 100 об/мин, при напоре в 180 мм конструкция вырабатывает 10 кВт мощности, напряжение 200-234 В, частота 50 Гц [18]. О.О. Бозаров в своей диссертации разработал микроГЭС с реактивным гидроагрегатом для сельскохозяйственных потребителей. Данная микроГЭС с реактивным гидроагрегатом обладает следующими техническими характеристиками: напор воды 2 м, расход воды 200 л/с, выработанная мощность 2,35 кВт, выходное напряжение 210-220 В, частота 48-52 Гц [19]. М.М. Мухаммадиев и Б.У. Уришев представили конструкцию микрогидроэлектростанции, работающую при малых потоках оросительного канала, которая состоит из двух параллельных водяных колёс расположены на общем горизонтальном валу. Вал, в свою очередь, соединен с генератором при помощи ременной передачи. Согласно экспериментальным исследованиям конструкции, была установлена его мощность, которая составила около 5 кВт [20].

К. Виртаяса и др. посвятили своё исследование проектированию аксиального генератора на постоянных магнитах для низкопоточных пико гидроэлектростанций. Процесс проектирования генератора был разделен на четыре этапа, которые включили в себя, 1) определение входных значений генератора, 2) определение выходных значений генератора аналитическим методом, 3) выполнено моделирование при помощи программного обеспечения для магнитных исследований (FEMM 2D), 4) определена производительность генератора. В результате проектирования, КПД аксиального генератора составил 91,71%, а его выходная мощность и напряжение при номинальной скорости вращения 300 об/мин, составили 1114,3 Вт и 220 В, соответственно. Следовательно, можно сделать вывод, что данный тип генератора может быть применим для выработки электроэнергии при малых потоках воды [21]. С. Розович и др. разработали конструкцию вертикально-осевой турбины Банки с асинхронным двигателем мощностью 1 кВт, предназначенную для выработки электроэнергии при малых потоках воды. [22]. Н. Таран в своём научном исследовании, проанализировал возможности применения различных конструкций аксиальных генераторов, состоящих из постоянных магнитов. Данный тихоходный тип генератора предназначен для эффективной работы при малых потоках ветра и воды применяемый в ветроэнергетических установках малой мощности и микроГЭС. В частности в исследовании представлены результаты оценки математической модели трех аксиальных генераторов. Для эффективной работы данного генератора при анализе энергетических параметров и оптимальных размеров были использованы программы Ansys Fluent и MATLAB/Simulink [23]. Д.С. Аминов разработал водопогружную гидроэнергетическую установку, предназначенную для работ в малых реках с использованием синхронного генератора с комбинированным возбуждением. В ходе исследования в программе SolidWorks была разработана имитационная модель гидроэнергетической установки, затем импортирована и проанализированная в программе Ansys Maxwell Circuit путем анализа динамических характеристик [24].

Аму-Бухарский канал является важнейшим комплексом Республики Узбекистан протекающий на территории Бухарской области. Ирригационная система Аму-Бухарского машинного канала является ответвлением реки Амударья, протекающей на территории Республики Туркменистан, и представляет важнейший комплекс на территории Узбекистана, предназначенный для обеспечения водой Бухарской и частично Наваийской областей, берущий своё начало в точке с координатами 39.219845, 63.719540 от входного гидроузла «Двойник». Для эффективного применения микрогидроэлектростанции первоначально необходима оценка гидроэнергетического потенциала региона, где будет использована микрогидроэлектростанция. Ресурсы гидроэнергетического потенциала Аму-Бухарского машинного канала впервые были оценены со стороны исследователей Бухарского инженерно-технологического института, который составил 200,2 ГВт·ч. Также в ходе оценки гидроэнергетического потенциала была построена схема (рис. 3) расположения магистральных и межхозяйственных каналов Бухарской области, построенная при помощи линейной схемы, взятой из управления Аму-Бухарского машинного канала, а также информации, полученной при помощи спутниковых данных на основании приложения Google Earth Pro [25].

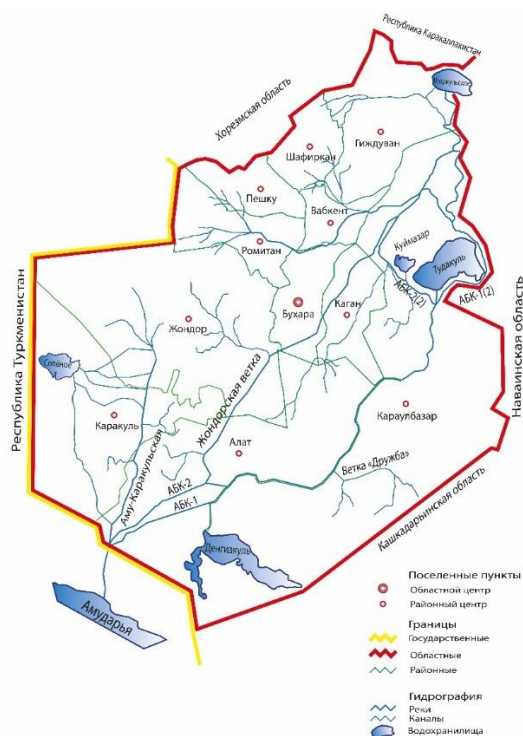


Рис.3. Схема расположения основных магистральных и межхозяйственных каналов Бухарской области

Целью исследования является разработка математической модели и обоснование параметров микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам, для обеспечения локальных потребителей, расположенных вдали от централизованного электроснабжения.

Задачи исследования: Оценка ресурсов гидроэнергетического потенциала ирригационной системы Бухарской области и обоснование возможности использования гидроэнергетических установок; анализ современного состояния разработки и использования низконапорных микрогидроэлектростанций; разработка и исследование математической модели, описывающей зависимость конструктивных размеров и энергетических параметров микрогидроэлектростанции от скорости потока воды; разработке микрогидроэлектростанции, эффективно работающей в низконапорных водотоках; разработка алгоритма определения оптимального угла наклона лопастей на выходе из воды, позволяющего повысить эффективность микрогидроэлектростанции; разработка научных основ применения усовершенствованных электрогенераторов в микрогидроэлектростанциях, для обеспечения повышения надежности и бесперебойности электроэнергии.

Методология. Методика расчета параметров микрогидроэлектростанции. Исходя из выявленных требований, была разработана следующая конструкция микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным

водотокам со скоростью потока воды 1-4м/с [26]. На рис. 4 представлен общий вид микрогидроэлектростанции типа нижнебойного водяного колеса.

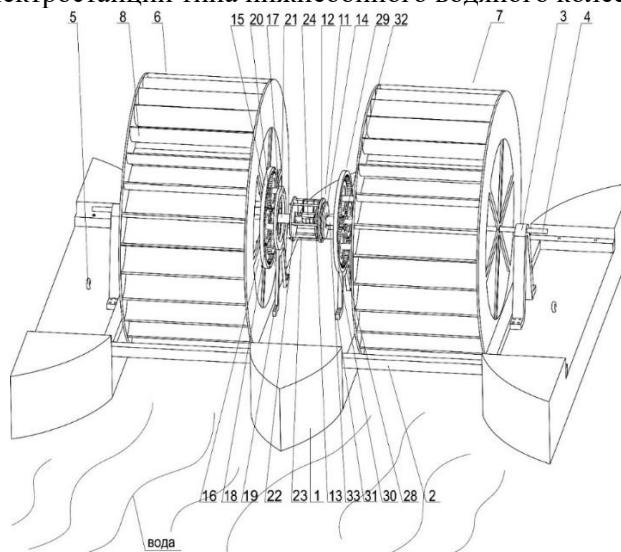


Рис. 4. Общий вид микрогидроэлектростанции:

- 1 - поплавок; 2 - металлическая рама; 3 - опора; 4 - горизонтальный вал;
- 5 - крюк; 6,7 - водяные колеса; 8 - лопасти; 9,10 - цилиндрические подшипники;
- 11 - тихоходный магнитоэлектрический генератор; 12 - якорь;
- 13,14 - индукторы; 16,29 - планетарные редукторы, 21,33 - фланцевые соединения; 22 - металлический диск, 24 - щетки с контактными кольцами

Микрогидроэлектростанция содержит установленное на поплавках 1, основание в виде металлической рамы 2, служащее основанием для опор 3, на которых закреплен неподвижный горизонтальный вал 4. На поверхности поплавков 1 установлены крюки 5 для крепления при помощи тросов к берегам оросительного канала. На валу 4 размещены два параллельных водяных колеса 6,7 с лопастями 8 в виде полых изогнутых форм, закрепленные посредством цилиндрических подшипников 9,10. В центре между водяными колёсами 6,7 расположен тихоходный магнитоэлектрический генератор 11, состоящий из якоря 12 и индукторов 13,14. Справа к водяному колесу 6 прикреплена кольцевая шестерня 15 планетарного редуктора 16, водило 17, соединяющее сателлиты 18, которые зафиксированы неподвижно на опоре 19, а его солнечная шестерня 20 прикреплена к фланцевому соединению 21. Фланцевое соединение 21 прикреплено с металлическим диском 22, который при помощи болтов, проходящих через отверстия втулок 23 прикреплен к якорю 12 тихоходного магнитоэлектрического генератора 11. В центре на валу 4 между металлическим диском 22 и индуктором 13 тихоходного магнитоэлектрического генератора 11 расположены щетки с контактными кольцами 24, соединенные с якорем 12 при помощи кабеля 25, закрепленного на втулке 23. Слева к водяному колесу 7 прикреплено фланцевое соединение 26, закрепленное с водилом 27, на котором закреплены оси сателлитов 28 планетарного редуктора 29, кольцевая шестерня 30, которая зафиксирована неподвижно на опоре 31, а его солнечная шестерня 32

соединена с фланцевым соединением 33. Фланцевое соединение 33 закреплено с индуктором 14 тихоходного магнитоэлектрического генератора 11.

Для теоретического подтверждения работы микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам со скоростью потока воды в диапазоне 1-4 м/с, составим математическую модель конструкции гидроэнергетической установки типа водяного колеса с диаметром 1 м [27]. На рис. 5 представлена схема геометрических параметров нижнебойного водяного колеса.

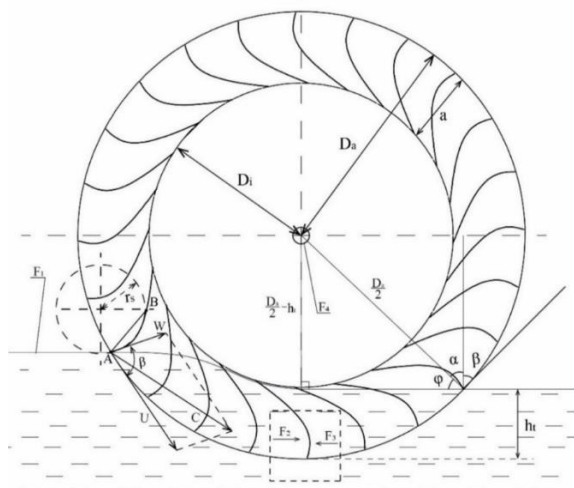


Рис.5. Схема геометрических параметров нижнебойного водяного колеса

Из геометрического размещения следует, что значения, внутреннего диаметра D_i и наружного диаметра D_a водяного колеса связаны уравнением:

$$D_i = D_a - 2a. \quad (1)$$

Высота лопасти "а" определяется в зависимости от расхода потока воды и внешнего диаметра D_a водяного колеса. Из научных трудов, для оросительного канала с расходом воды $Q \leq 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, принято следующее уравнение [28]:

$$a = \frac{D_a}{4}. \quad (2)$$

Формула, определяющая окружную скорость водяного колеса, имеет следующий вид [29]:

$$U = 2,33 \cdot \sqrt{H} = 2,33 \cdot \sqrt{\frac{V^2}{2 \cdot g}}. \quad (3)$$

Частота вращения водяного колеса определяется по окружной скорости и внешнему диаметру водяного колеса [30]:

$$n = \frac{60 \cdot U}{D_n \cdot \pi}, \quad (4)$$

где U_a – окружная скорость, м/с;

Формула, определяющая угловую скорость водяного колеса, имеет следующий вид:

$$\omega_M = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{60}, \quad (5)$$

где, n – число оборотов водяного колеса, об/мин;

Количество лопастей водяного колеса, вычисляется по следующей формуле [31]:

$$z = \frac{D_a \cdot \pi}{t} \quad (6)$$

Благодаря геометрическим законам определим зависимость угла β от угла φ :

$$\begin{cases} \alpha + \beta = 90^\circ \\ \varphi + \alpha = 90^\circ \\ \alpha = 90^\circ - \beta \\ \alpha = 90^\circ - \varphi \\ \varphi = \beta \end{cases} \quad (7)$$

Для снижения потерь водяного колеса следует определить глубину погружения h_t изогнутой лопасти, отображающейся расчётным кружком с радиусом r_s , форма которой в значительной степени снижает коэффициент лобового сопротивления при взаимодействии с потоком воды по отношению к подобным установкам с прямыми лопастями связаны уравнением [32]:

$$r_s = \frac{\left(\frac{D_a}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_i}{2}\right)^2}{D_a \cdot \cos\beta + D_i} \quad (8)$$

Выход лопасти из воды имеет решающее значение для оптимального угла лопасти. Угол наклона лопасти зависит от глубины погружения лопасти под водой и внешнего диаметра водяного колеса, который вычисляется по формуле:

$$\beta = \cos^{-1}\left(\sqrt{1 - \left(1 - \frac{h_t}{D_a}\right)^2}\right), \quad (9)$$

где: h_t – глубина погружения лопасти в воду, м; D_a – внешний диаметр колеса, м.

Глубина погружения лопасти в поток воды - параметр, зависящий от скорости вращения водяного колеса n , толщины лопасти b_{sch} наружного радиуса водяного колеса R_a , расхода потока воды Q , определяется следующим выражением [33]:

$$h_t = \left(R_a - \frac{1,05 \cdot b_{sch} \cdot z}{2\pi}\right) - \sqrt{\left(R_a - \frac{1,05 \cdot b_{sch} \cdot z}{2\pi}\right)^2 - \frac{Q \cdot 60}{n \cdot B \cdot \pi}} \quad (10)$$

Исходя из рис. 5 на основании геометрических законов можно определить глубину погружения лопасти h_t :

$$h_t = \frac{D_a}{2} - \frac{D_a \cdot \sin\beta}{2} \quad (11)$$

Исходя из уравнений (10) и (11) получим математическое выражение, определяющее расход потока воды:

$$Q = \frac{n \cdot B \cdot ((\pi \cdot D_a - 1,05 \cdot b_{sch} \cdot z) \cdot \left(\frac{D_a - D_a \cdot \sin\beta}{2}\right) - \pi \cdot \left(\frac{D_a - D_a \cdot \sin\beta}{2}\right) \cdot z)}{60} \quad (12)$$

Сила, действующая на лопасти водяного колеса, определяется по следующей формуле [34]:

$$F = \rho \cdot Q \cdot (V - U) \quad (13)$$

В процессе преобразования кинетической энергии потока воды в механическую возникают гидравлические потери, как следствие потерь мощности, определяющиеся при помощи следующего выражения [35]:

$$F_1 = 0,1 \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (14)$$

При взаимодействии водяного колеса с потоком воды образуются ударные потери, связанные с ударом о лопасти поступающей воды F_2 [36]:

$$F_2 = \varepsilon \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{w^2}{2g}. \quad (15)$$

Также в процессе преобразования энергии потока воды возникают потери, связанные с силой F_3 влияющей с задней стороны лопасти и препятствующей вращению водяного. Данный вид потерь F_3 анализировать проще всего. Для ее оценки используется метод расчета силы сопротивления погруженных движущихся тел. В данном случае тело представляет собой лопасть с объемом воды в изогнутой части, которая перпендикулярна потоку. Следовательно, F_3 можно выразить как [37]:

$$F_3 = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot A \cdot (V - U)^2, \quad (16)$$

где, C_d – коэффициент лобового сопротивления, A – площадь лопасти, ρ – плотность воды, V – скорость потока воды, U – окружная скорость.

Потери на трение связаны с рассеиванием мощности силами трения, как на опорах вала, из-за веса колеса, так и на дне канала, из-за эффекта сопротивления воды, содержащейся в лопастях, которые перемещаются вниз по течению.

Потери мощности из-за трения в подшипниках могут быть выражены с учетом силы трения между валом и колесом, которое давит на него [38]:

$$F_4 = M \cdot w_m = W \cdot f \cdot r \cdot w_m \quad (17)$$

$$W = W_k + W_b.$$

где, M – противоположный крутящий момент, обусловленный трением, w_m – скорость вращения колеса (рад/с), W_k – вес колеса, кг; W_b – вес воды, воздействующий на лопасти; f – коэффициент трения равный 0,0015; r – расстояние уровня вала над поверхностью воды, м.

Сила, образованная в результате вычитания четырех вышеприведенных видов потерь при вращении водяного колеса, имеет следующее выражение:

$$F_0 = F - (F_1 + F_2 + F_3 + F_4). \quad (18)$$

Общий механический крутящий момент, создаваемый на лопастях водяного колеса с горизонтальной осью вращения, определяется при помощи выражения [39]:

$$M = F_0 \cdot \frac{D_a}{2}. \quad (19)$$

Механическая мощность водяного колеса определяется по следующей формуле [40]:

$$P_m = M \cdot \omega_M. \quad (20)$$

Мощность потока воды определяется при помощи следующей формуле [41]:

$$P_0 = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (21)$$

Коэффициент полезного действия определяется отношением механической мощности водяного колеса к мощности потока воды и имеет следующий вид [42]:

$$\eta = \frac{P_M}{P_0} . \quad (22)$$

Вышеприведенная математическая модель была использована для определения оптимальных геометрических размеров водяного колеса и надежной оценки эффективности микрогидроэлектростанции адаптированной к низконапорным водотокам.

Методика расчёта параметров электрогенератора. Для повышения эффективности работы гидроэнергетических установок в низконапорных водотоках был разработан тихоходный генератор с постоянными магнитами, якорь и индуктор которого вращаются в противоположные стороны.

На рис. 6 (а) показан трехмерный вид электрического генератора, (б) способ подключения обмотки якоря генератора, (в) расположение магнитов на индукторе генератора. Каждая фаза электрического генератора содержит 4 последовательно соединенных катушек, объединенных по схеме звезда. Индуктор электрогенератора содержит постоянные магниты из 16 пар полюсов.

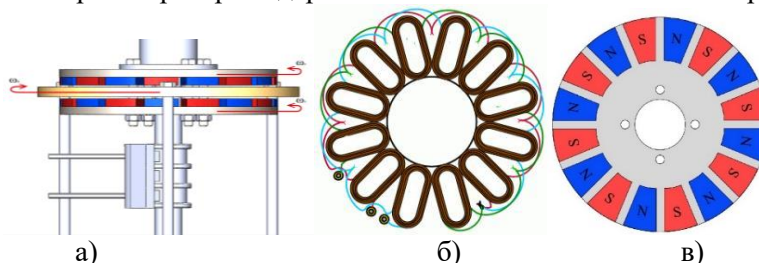


Рис. 6. Устройство электрогенератора
а - общий вид генератора; б - схема подключения обмотки якоря; в - внешний вид индуктора генератора

Расчет электромагнитной мощности, трехфазного генератора, состоящего из постоянных магнитов, определяется из следующего выражения [43]:

$$P_3 = \frac{3}{2} \omega [\Psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q . \quad (23)$$

Электромеханический момент генератора, состоящего из числа пар полюсов p , определяется из следующего выражения:

$$M_3 = \frac{3}{2} p [\Psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q , \quad (24)$$

где, Ψ_{PM} – магнитный поток, Вб.

$$\Psi_{PM} = \frac{\sqrt{2} E_{\phi}}{\omega} . \quad (25)$$

Электромагнитная скорость, с которой якорь и индуктор электрогенератора вращаются в противоположные стороны, определяется следующим выражением:

$$\omega = p(\omega_{M1} + \omega_{M2}) , \quad (26)$$

где p – число пар полюсов.

Момент инерции при динамическом моделировании генератора определяется из следующего выражения [44]:

$$J \frac{d\omega_M}{dt} = M_M - M_3 - k\omega_M , \quad (27)$$

где, J – инерция момента массы индуктора $\text{кг}\cdot\text{м}^2$, M_m и M_3 – механический и электромагнитный моменты генератора, $\text{Н}\cdot\text{м}$; k – коэффициент трения, ω_m – угловая скорость генератора, $\text{рад}/\text{с}$.

Расчёт индуктивности обмотки якоря [45]: по осям d и q

$$\begin{cases} L_d = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'} \cdot k_{fd} \\ L_q = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'_q} \cdot k_{fq} \end{cases}, \quad (28)$$

где, N – количество витков в одной обмотке; R_1 – внешний диаметр якоря, м ; R_2 – внутренний диаметр якоря, м ; p – число пар полюсов; k_w – коэффициент заполнения обмотки якоря; m – число фаз.

Для конфигурации поверхности постоянных магнитов эквивалентный воздушный зазор по осям d и q определяется следующими выражениями: для якоря без магнитопровода

$$\begin{cases} g' = 2[(g + 0,5t_w) \cdot k_{sat} + \frac{h_m}{\mu_{rrec}}] \\ g'_q = 2(g + 0,5t_w + h_m) \end{cases}, \quad (29)$$

При $\mu_{rrec} \approx 1$ конфигурация поверхности постоянных магнитов принимаем за $k_{fq} = k_{fd} = 1$. В этом случае, индуктивность реакции якоря по осям d и q определяется следующим упрощенным выражением:

$$L_d = L_q = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'}. \quad (30)$$

ЭДС, образованная на обмотке генератора, определяется при помощи следующего выражения [46]:

$$E_\phi = \sqrt{2} p f p N k_w \Phi_\phi = \sqrt{2} p n N k_w B_g (R_1^2 - R_2^2), \quad (31)$$

где, Φ_ϕ – магнитный поток, Вб ; B_g – магнитная индукция, Тл ; f – частота, $1/\text{с}$.

Поток магнитного поля, образованный в обмотке якоря, зависит от размеров и изменения значения индукции магнитного поля постоянных магнитов. Это выражение определяется по следующей формуле:

$$\Phi_\phi = \frac{B_g}{p} (R_1^2 - R_2^2). \quad (32)$$

Электромагнитный момент определяется следующим упрощенным выражением:

$$M_3 = \frac{m}{\sqrt{2}} p N k_w \Phi_\phi I. \quad (33)$$

Приблизительное значение выходной мощности, соответствующей спроектированному генератору, можно рассчитать по следующему выражению:

$$P_3 = \sqrt{3} E I \cos\varphi = M_m \omega_m \eta_r, \quad (34)$$

Вышеприведенная математическая модель многополюсного электрогенератора с улучшенными энергетическими параметрами и усовершенствованной конструкцией была использована для обеспечения бесперебойной и надежной выработки электроэнергии микрогидроэлектростанцией при различной скорости потока воды.

Результаты и анализ. В ходе исследования были получены результаты, позволяющие определить КПД гидроэнергетической установки, эффективно ра-

ботающей в низконапорных водотоках, задавая КПД угол наклона лопасти на выходе из воды, расход воды, количество лопастей, гидравлические потери, механическую мощность и т.д.

На рис. 7 представлен алгоритм, разработанный для определения оптимальных параметров водяного колеса.

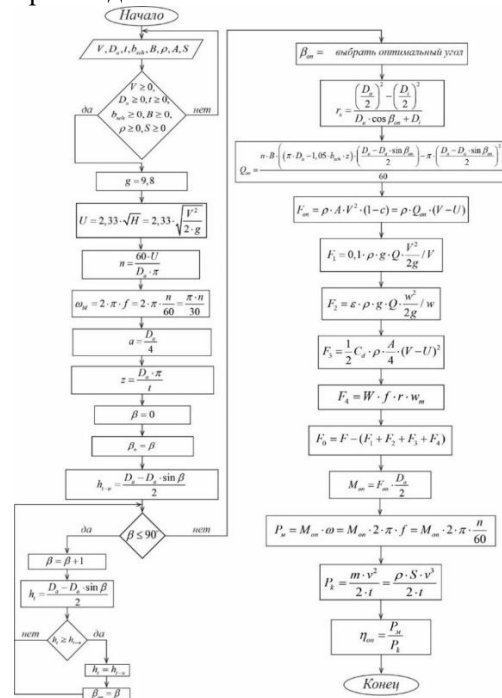


Рис.7. Алгоритм определения оптимальных параметров водяного колеса

На основании данного алгоритма ниже приведены результаты основных параметров микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам. При определении конструктивных размеров и энергетических параметров были указаны граничные условия: скорость потока воды $V=1-4$ м/с, угол наклона лопасти водяного колеса $\beta=0^\circ-90^\circ$, расход воды $Q \leq 0,5$ м³/с, количество лопастей $z = 16$, толщина лопасти $b_{sch} = 0,002$ м.

На рисунке 8 приведены значения кривой зависимости угла наклона лопастей β от глубины погружения лопастей в воду h_t . Из рис. видно, что при угле наклона лопасти на выходе из воды $\beta = 30^\circ$, значение погружения лопасти $h_t = 0,25$ м, что является его максимальным значением.

На рис. 9 изображен график зависимости угловой скорости водяного колеса n от скорости потока воды V . Кривая, изображенная на рис. 8, показывает, что с увеличением скорости потока воды от 1 м/с до 4 м/с, скорость вращения водяного колеса увеличивается от 10 об/мин до 40 об/мин, соответственно.

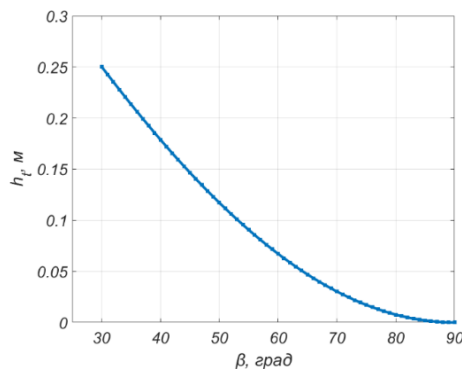


Рис. 8. График зависимости угла наклона лопастей от глубины погружения лопастей в воду

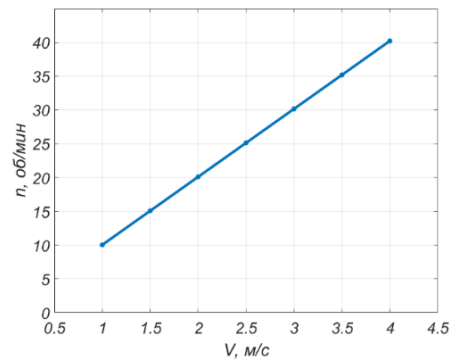


Рис.9. График зависимости угловой скорости водяного колеса от скорости потока воды

На рис. 10 приведены кривые зависимостей расхода воды Q от угла наклона лопастей на выходе из воды β . Было установлено, что при скорости потока воды 4 м/с и угле наклона лопастей $\beta = 30^\circ$ расход потока воды составляет $Q = 0,475 \text{ м}^3/\text{с}$, а при скорости потока воды 1 м/с расход потока воды составил $Q = 0,125 \text{ м}^3/\text{с}$.

На рис. 11 приведены кривые, зависимостей угла наклона лопастей β от механического момента M . Было установлено, что при скорости потока воды 4 м/с и угле наклона лопастей на выходе из воды равным $\beta = 30^\circ$ механический момент составил 360 Нм.

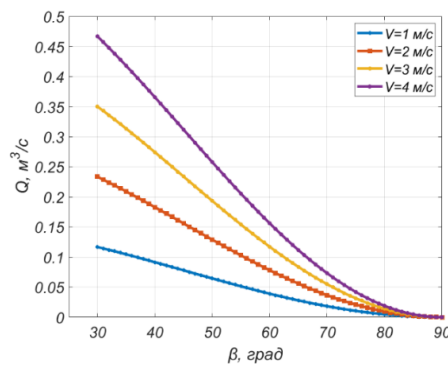


Рис. 10. Графики зависимости расхода потока воды от угла наклона лопастей на выходе из воды

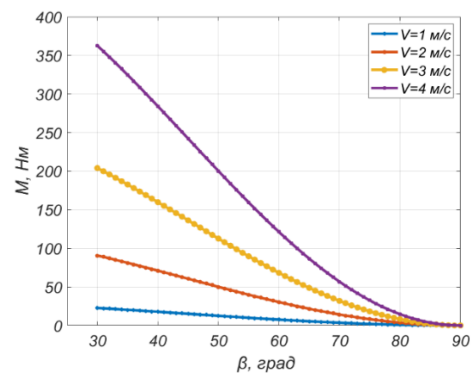


Рис. 11. Графики зависимости механического момента от угла наклона лопастей на выходе из воды

На рис. 12 представлены кривые зависимости механической мощности P_M от угла наклона лопастей на выходе из воды β . На основе теоретического расчёта максимальное значение механической мощности при скорости потока воды 4 м/с и угле наклона лопастей на выходе из воды $\beta = 30^\circ$ составило 1550 Вт.

На рис. 13 изображена кривая зависимости коэффициента полезного действия от угла наклона лопастей на выходе из воды. Установлено, что значение коэффициента полезного действия водяного колеса при угле наклона лопастей $\beta = 30^\circ$ составило 32%.

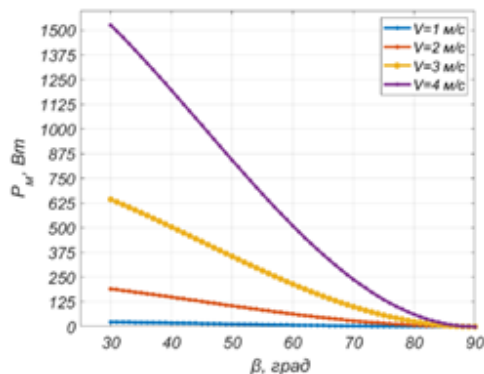


Рис. 12. Графики зависимости механической мощности от угла наклона лопастей на выходе из воды

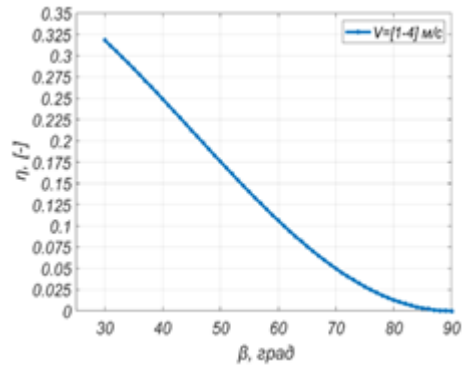


Рис. 13. Кривая зависимости КПД от угла наклона лопастей

Для повышения эффективности работы гидроэнергетической установок в низконапорных водотоках был разработан тихоходный генератор с постоянными магнитами, якорь и индуктор которого вращаются в противоположные стороны.

На рис. 14 представлена разработанная в пакете Matlab/Simulink математическая модель электрогенератора, якорь и индуктор которого вращаются в противоположные стороны.

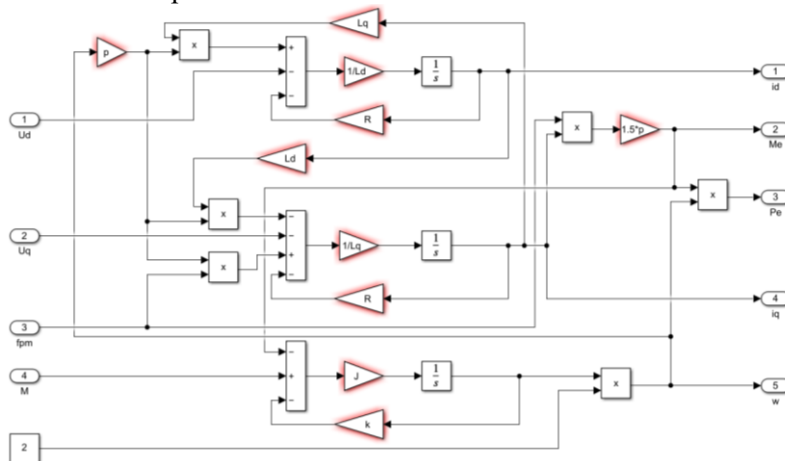


Рис.14. Имитационная модель электрогенератора, построенная в пакете Matlab/Simulink

На рис. 15 приведены графики сравнения значений двух электрогенераторов. При этом были рассчитаны и сравнены выходные параметры для первого генератора с неподвижным якорем и вращающимся индуктором и во втором

случае для генератора, якорь и индуктор которого вращаются в противоположные стороны.

На рис. 15 (а) представлен график сравнения значений напряжений, образующихся в обмотке якоря для вышеперечисленных случаев. Было установлено что в случае с противоположным вращением якоря и индуктора в противоположные стороны напряжение, выработанное на обмотке якоря, увеличилось от 223В до 255В по отношению с неподвижным якорем.

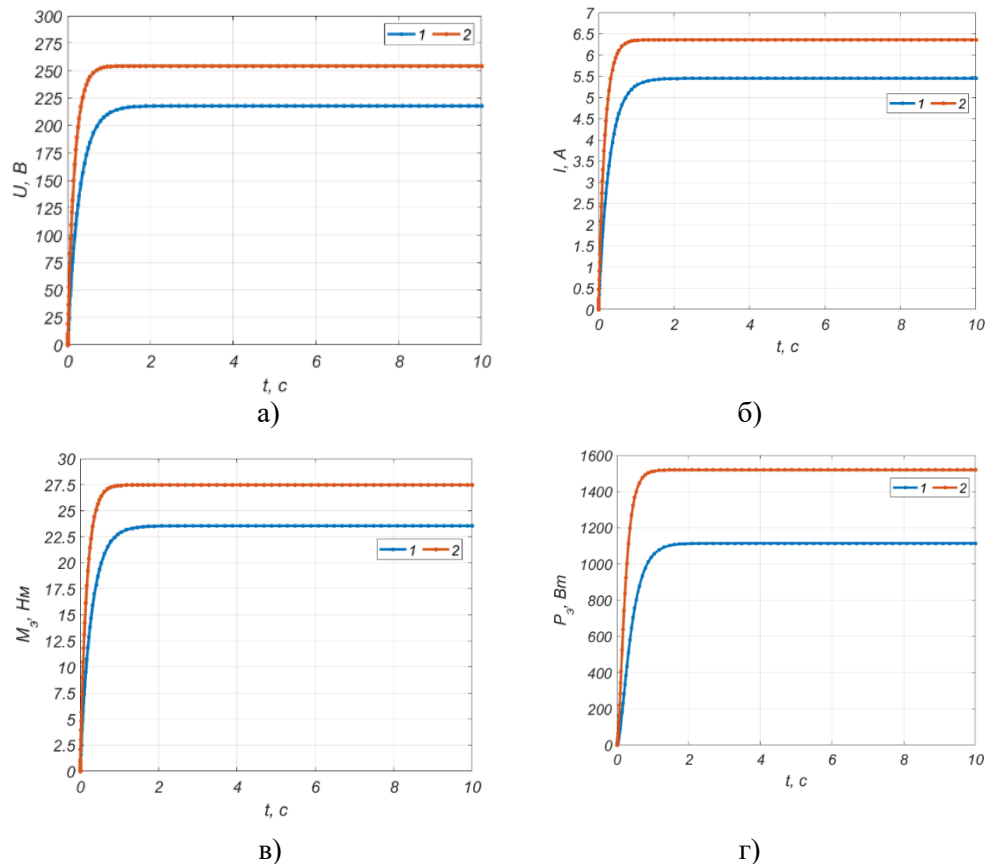


Рис. 15. Результаты фазных токов в динамическом режиме, образованных в обмотке якоря разработанного электрогенератора

На рис. 15 (б) графиком показаны сравнительные значения фазных токов, образующихся в обмотке якоря для вышеперечисленных случаев. Соответственно, при противоположном вращении якоря и индуктора генератора было определено, что ток якоря увеличился от отметки 5,5А до 6,3А по сравнению с неподвижным якорем.

На рис. 15 (в) приведен график сравнения значений механического момента двух электрогенераторов. Из графика видно, что при противоположном вращении якоря и индуктора электрогенератора электромагнитный момент увеличился на 20 % по сравнению с неподвижным якорем.

На рис. 15 (г) представлен график сравнения значений электромагнитной мощности двух генераторов. Также было установлено, что при противоположном вращении якоря и индуктора электрогенератора электромагнитная мощность генератора увеличилась с 1090 Вт до 1530 Вт по сравнению с зафиксированным якорем. Вышеприведенные результаты были получены при скорости вращения якоря и индуктора равной 340 об/мин.

Заключение. 1. Разработан алгоритм оценки ресурсов гидроэнергетического потенциала ирригационной системы Бухарской области, а также получен сертификат программы для ЭВМ. Было установлено, что ресурсы валового гидроэнергетического потенциала низконапорной ирригационной системы Аму-Бухарского канала с изменением скорости потока воды в диапазоне 1-4 м/с составляет 202,4 ГВт·ч.

2. Разработана микрогидроэлектростанция с плавучим основанием в виде понтонов, служащих для устранения проблем с изменением уровня воды и в то же время в качестве направляющих. Лопастей водяного колеса установлены под оптимальным углом наклона для уменьшения сопротивления на выходе из воды. В результате данная конструкция позволяет увеличить эффективность гидроэнергетической установки на 1,5-2% при работе в низконапорных водотоках.

3. Получены аналитические выражения, позволяющие определить коэффициент полезного действия микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам, в зависимости от скорости потока воды V , числа оборотов водяного колеса n , количества лопастей водяного колеса Z , расхода потока воды Q , силы действующей на лопасти F , а также угловой скорости водяного колеса ω .

4. Определены условия достижения максимального значения КПД $\eta=32\%$ гидроэнергетической установки, согласно которым расход потока воды составляет $Q=0,46 \text{ м}^3$, скорость потока воды $V=4 \text{ м/с}$, оптимальное значение угла наклона лопастей, позволяющего увеличить силу, взаимодействующую с передней частью лопасти и уменьшения силы, препятствующей движению водяного колеса и взаимодействующей с обратной стороны лопасти составляет $\beta=30^\circ$.

5. Увеличение выработки электроэнергии в низконапорных водотоках разработанной микрогидроэлектростанцией до 25%, за счет применения усовершенствованного многополюсного электрогенератора, якорь и индуктор которого вращаются в противоположные стороны.

6. Использование данной микрогидроэлектростанции, адаптированной к низконапорным водотокам ирригационной системы Аму-Бухарского канала, позволяет обеспечить локальных потребителей, расположенных вдали от централизованного электроснабжения надежной и бесперебойной электроэнергией.

Литература

1. N. N. Sadullayev, A. B. Safarov, Sh.N. Nematov, R.A. Mamedov, A.B. Abdujabarov, "Opportunities and prospects for the use of renewable energy sources in Bukhara region", Applied solar energy, vol. 56, № 4, pp. 410-421, 2020.
2. C. Penche, "European Small Hydropower Association – ESHA", Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant, vol. 2, № 7, pp. 43-49, 2004.

3. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf
4. C. Nicolet, A. Zobeiri, P. Maruzewski, F. Avellan, “Experimental Investigations on Upper Part Load Vortex Rope Pressure Fluctuations in Francis Turbine Draft Tube”, *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, vol. 4, №. 1, pp. 179-190, 2011.
5. D. Kodirov, O. Tursunov, “Calculation of Water Wheel Design Parameters for Micro Hydroelectric Power Station”, *E3S Web of Conferences* 97, pp. 1-11, 2019.
6. Р.А. Мамедов, Н.Н. Садуллаев, А.Б. Сафаров, “Разработка и научное обоснование эффективной работы микроГЭС, адаптированной к потокам оросительных каналов нашего региона“, *Развитие науки и технологии*, №2, стр. 62-68. 2021.
7. I. Butera, R. Balestra, “Estimation of the hydropower potential of irrigation networks”, *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 48, pp. 140-151, 2015.
8. <https://www.hydropower.org/publications/2021-hydropower-status-report>
9. A. H. Elbatran et al., “Hydro Power and Turbine Systems Reviews”, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, vol. 74, pp. 83–90, 2015.
10. G. Müller, K. Kauppert, “Performance characteristics of water wheels”, *Journal of Hydraulic Research*, vol. 42, pp. 451-460, 2004.
11. S. J. Williamson, B. H. Stark, J.D. Booker, “Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis”, *Renewable Energy*, vol. 61, pp. 43-50, 2014.
12. J.R.Gandhi, H. Jha, S. N. Jha, D.S.Patel, “Renewable Energy Based Floating Power Generator (Rivers and Canals)”. *International Journal of Engineering Research and Applications*. vol. 6, pp. 49-59, 2016.
13. G. Muller, R. Jenkins, W. Batten, “Potential, performance limits and environmental effect of floating water mills”. *Bundesanstalt für Wasserbau*. pp. 707-712. 2010.
14. E. Quaranta, G. Müller, “Sagebien and Zuppinger water wheels for very low head hydropower applications”, *Journal of Hydraulic Research*. pp. 1-11, 2018.
15. G. Muller, C. Wolter, “The breast-shot waterwheel: design and model tests”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability*, vol. 157, pp. 1-9, 2004.
16. D. Adanta, B. Budiarto, S. Arifianto, S. Nasution. “Effect of blades number on undershot waterwheel performance with variable inlet velocity”, *4th International Conference on Science and Technology (ICST)*. 2018, pp. 1-6.
17. S.R. Turnock, G. Muller, R. F. Nicholls-Lee, et al, “Development of a floating tidal energy system suitable for use in shallow water”. *7th European Wave and Tidal Energy Conference*, 09. 2007, pp. 1-9.
18. Д.Б. Кодиров, “Энергоэффективная микрогидроэлектростанция для низконапорных водотоков”, PhD диссертация, Ташкент, 2018.
19. О.О. Бозаров, “Разработка микро-ГЭС с реактивным гидроагрегатом для сельскохозяйственных потребителей”, PhD диссертация, Ташкент, 2020.
20. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. “Свободнопоточная микрогидроэлектростанция”, Патент РУз, № IAP 03639, 2008.
21. B. Hongpreechar, W. Krueasuk, A. Pongching-ngam, et al, “Feasibility Study of Micro Hydro Power Plant for Rural Electrification in Thailand by Using Ax-

ial Flux Permanent Magnet” International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, 09.2011, pp. 172-179.

22. S. Rozowicz, Z. Goryca, G. Peczkis, A. Korczak. “Pico hydro generator as an effective source of renewable energy”. *Przegląd elektrotechniczny*. vol. 4, pp. 200-204. 2019.

23. N. Taran, “Optimum Design of Axial Flux PM Machines based on Electromagnetic 3D FEA”, PhD dissertation, Lexington, Kentucky. 2019.

24. Д. С. Аминов, “Теоретические основы разработки водопогружных гидрогенераторов, используемых в качестве возобновляемых источников электроэнергии малых и средних рек”, кандидатская диссертация, Челябинск. 2020.

25. Р.А. Мамедов, “Расчеты ресурсов валового гидроэнергетического потенциала Аму-Бухарского канала одноточечным и двухточечным методами”, Международная научно-техническая конференция: «Тенденции развития альтернативной и возобновляемой энергетики: проблемы и решения» - Ташкент, 05.2021, стр. 202-209.

26. Р.А. Мамедов, Н.Н. Садуллаев, А.Б. Сафаров, Г.Ж.Ражабова. “Гидроэнергетическая установка”, Патент РУз № FAP 01884, 2022.

27. Р.А. Мамедов, “Разработка методики и математической модели микроГЭС, эффективно работающей в низконапорных водотоках”, *Universum: технические науки*, 4(97), 2022. DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13507

28. W. Müller. “Die Eisernen Wasserräder - Berechnung, Konstruktion und Wirkungsgrad”, Germany, (University of Wisconsin – Madison), 1899.

29. D. Adanta, M. Kurnianto, “Effect of the number of blades on undershot waterwheel performance for straight blades”. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science – Germany*, 02.2020, pp 1-6

30. M.M. Mukhammadiev, E.K. Mamadiyarov, B.U. Urishev, S.M. Mukhammadiev, “Technological model of micro power facilities based on renewable energy sources with the energy storage”. *Applied Solar Energy*, vol. 48(2), pp. 152-156, 2012.

31. S. Paudel et al., “Experimental investigation on the effect of channel width on flexible rubber blade water wheel performance”, *Renewable Energy*, vol. 52, pp. 1-7, 2013.

32. H. Matthias, “Analyse des Zuppinger-Wasserrades – Hydraulische Optimierungen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte” Germany, (Universität Stuttgart Germany), 2018.

33. D.M. Nuembergk, F. Trostdorf, G. Treiber, “Untersuchung zum Wirkungsgrad eines Zuppinger-Wasserrades mit einer kreisförmigen Überfallschütze”. *Wasserbaukolloquium 2009: Wasserkraft im Zeichen des Klimawandels Dresdener Wasserbauliche Mitteilungen*, pp. 359-368, 2009.

34. M. Denny, “The efficiency of overshoot and undershot water wheels”. *European journal of physics* vol. 25, pp. 193–202, 2004.

35. F. Chaudy, “Machines hydrauliques”, French: Published by Vve. C. Dunod et P. Vicq (in), 1896.

36. E. Garuffa, “Macchine motrici ed operatrici a fluido”. Italy: Published by U. Hoepli, 1897.

37. M. Zhao et al., “Performance investigation of the immersed depth effects on a water wheel using experimental and numerical analyses”, *Water*, vol.12, pp. 1-17, 2020.
38. Quaranta, “Investigation and optimization of the performance of gravity water wheels”, Doctoral thesis, Italy, 2017.
39. D. Kodirov, O. Tursunov, S. Khushiev, et al, “Mathematical description of water flow quantity for microhydroelectric station”. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 12.2020, pp 1-9.
40. D.P. Sari et al., “The effect of the ratio of wheel tangential velocity and upstream water velocity on the performance of undershot waterwheels”, *Journal of advanced research in fluid mechanics and thermal sciences*, vol 65, pp. 170-177, 2020.
41. K. Jamlay, L. Sule, D. Hasan, “Design of Undershot Waterwheel Curved Blades as Picohydro Power Plant Generation in Tamangil Village”, *Jurnal teknik mesin institut teknologi padang*, vol. 6, pp. 32-37, 2016.
42. Ilaria Butera et al., “Experimental analysis of effect of canal geometry and water levels on rotary hydrostatic pressure machine”, *Journal of hydraulic engineering*, vol. 146, pp. 1-10, 2020.
43. А.Б. Сафаров, О.З. Тоиров, Р.А. Мамедов, М.Р. Чарыева, “Проектирование и моделирование тихоходных электрогенераторов для получения электроэнергии от альтернативных источников”, *Проблемы энерго- и ресурсосбережения*, №3, стр. 292-306, 2021.
44. P.O. Akello, “Development of a low cost direct-drive permanent magnet generator for power generation in small wind turbines”, PhD dissertation, Kenya, 2016.
45. A. Rolan, A. Luna, G. Vazquez, et al, “Modeling of a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator”. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 734-739, 2009.
46. M. Aydin, S. Huang, T. Lipo. “Axial flux permanent magnet disc machines: a review. Research report”. University of Wisconsin-Madison, 2004.

Представлено Бухарским инженерно-технологическим институтом и Каршинским инженерно-экономическим институтом

УДК 620.92

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ СОЛНЕЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ
В ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ**

В.В. Елистратов, С.Е. Красножен

Дунёда содир бўлаётган глобал исми жараёнлари инсон фаолияти билан ҳам боғлиқ, шунинг учун қазилма ёқилгига ва антропоген иссиқхона газлари чиқиндиларига боғлиқликни камайтириши йўлларини излаш бўйича тадқиқотлар бугунги кун учун долзарб мавзу ҳисобланади. ХЭА маълумотларига кўра, 2021 йил да глобал миқёсда карбонат ангидрид чиқиндиларининг тахминан 37 фоизи қурилиш саноати ҳиссасига тўғри келган. Мақолада фуқаролик биноларини эксплуатация қилишда углерод изини минималлаштиришга қаратилган ҳатти-ҳаракатлар қуёш меъморчилиги принципларидан фойдаланган ҳолда амалга оширилиши лозимлиги асослаб берилган, пассив ва фаол қуёш меъморчилиги, энергия самарадор ва энергия тежамкорлик чоралари учта асосий хусусиятга кўра принциплар таснифи ишлаб чиқилган. Пассив қуёш меъморчилиги чораларига бинонинг мақбул йўналиши бўйича ечимлар, тўсувчи конструкциялар орқали иссиқлик тушиши ва йўқотишларини камайтириши, айвонли қуёш нуридан ҳимояловчи воситалардан фойдаланиши чоралари таклиф этилади. Қуёш меъморчилиги соҳасининг асосий ривожлантирувчи йўналиши сифатида қайта тикланадиган энергия манбалари асосидаги қурилмалардан фойдаланишни амалга жорий этиши таклиф этилади. Энергия самарадорлик чораларига энергия тежамкор ёритиш, ақлли уйни бошқариш тизими, рекуператорлар, иссиқлик насослари ва бошқаларни жорий этишни ўз ичига олган чора-тадбирлар таклиф этилади. Қуёш меъморчилиги тамойиллари Россия Федерациясининг Калининград вилоятида жойлашган турар-жой биносини лойиҳалаш мисолида амалга оширилган. Иссиқлик муҳандислик ҳисоб-китоблари объектнинг энергетик паспортини яратиш усули ёрдамида амалга оширилди, пассив қуёш меъморчилиги чоралари жорий этилди ва натижада бинони “А+” энергия тежаши синфига киришига имкон берди. Фаол қуёш меъморчилигининг принциплари умумий майдони 4,5 м² бўлган вакуумли қуёш иситгич коллекторидан фойдаланган ҳолда иссиқ сув таъминоти тизимини яратиш; бино томига электр энергияси билан таъминлаш учун 3,56 кВт қувватга эга қуёш фотоэлектрик панелларини жойлаштириши учун фойдаланилган. Иситиш учун энергия самарадор ва энергия тежамкор чоралар сифатида ўртача иссиқлик узатиш коэффициентини 1 кВт ва электр қуввати 3,58 бўлган ҳаво-сув иссиқлик насоси қўлланилган.

Происходящие в мире процессы глобального потепления связаны и с деятельностью человека, поэтому актуальной темой являются исследования по поиску путей снижения зависимости от ископаемого топлива и антропогенных выбросов парниковых газов. По данным IEA на 2021 год, к строительной отрасли относятся около 37% общемировых выбросов углекислого газа. Действия,

направленные на минимизацию углеродного следа, при эксплуатации гражданских зданий целесообразно проводить с использованием принципов солнечной архитектуры. Разработана классификация принципов с разбиением на три основных признака – мероприятия пассивной и активной солнечной архитектуры, энергоэффективные и энергосберегающие мероприятия. К мероприятиям пассивной солнечной архитектуры предлагается отнести решения по оптимальной ориентации здания, внедрению мероприятий по снижению тепловых потерь и поступлений через ограждающие конструкции, использованию навесных солнцезащитных козырьков. К активным мероприятиям солнечной архитектуры предлагается отнести внедрение установок возобновляемых источников энергии. К энергоэффективным мероприятиям предлагается отнести внедрение энергосберегающего освещения, системы управления «умный дом», рекуператоров, тепловых насосов и др. Принципы солнечной архитектуры реализованы на примере проектирования жилого здания, расположенного в Калининградской области РФ. Выполнены теплотехнические расчеты с использованием методики создания энергетического паспорта объекта, в рамках которого внедрены мероприятия пассивной солнечной архитектуры, позволившие обеспечить класс энергосбережения здания «А+». Принципы активной солнечной архитектуры использованы: для создания системы горячего водоснабжения с помощью вакуумированного солнечного теплового коллектора общей площадью 4.5 м²; для обеспечения электроснабжения на крыше размещены солнечные фотоэлектрические панели мощностью 3.56 кВт. В качестве энергоэффективных и сберегающих мероприятий для отопления использован воздушно-водяной тепловой насос электрической мощностью 1 кВт со средним коэффициентом теплотрансформации 3.58.

The processes of global warming taking place in the world are associated with human activities, therefore, research on the reduction of dependence on fossil fuels and greenhouse gas emissions is an actual topic for scientists. 37% of all carbon emissions in 2021 come from the construction industry. Application of the principles of solar architecture offer solutions to minimize the carbon footprint of the operation of civil buildings. A classification of principles was developed according to the three main categories – measures of passive and active solar architecture, energy-efficient and energy-saving measures. To reduce the carbon footprint in the operation of civil buildings, the principles of solar architecture proposed to apply. They include measures to reduce the heat loss of enclosing structures, energy consumption through energy-efficient technologies, passive and active technologies that use of the solar energy. Passive solar architecture measures include optimizing building orientation, reducing heat losses and gains through the building envelope, and using awnings to protect against solar gain. The active measures of solar architecture include the introduction of renewable energy sources. Energy-efficient measures include the implementation of energy-saving lighting, smart home control systems, recuperators, heat pumps, etc. The principles of solar architecture are implemented on the example of designing a residential building located in the Kaliningrad region of the Russian Federation. Measures of passive solar architecture were introduced, heat engineering calculations were carried out by the energy passport methodology using, that ensured the energy

saving class of the building A +. The principles of active solar architecture were used to create a hot water system using an evacuated solar thermal collector with a total area of 4.5 m² and a power supply system using solar photovoltaic panels with a capacity of 3.56 kW. As an energy-efficient and energy-saving measure for heating, an air-to-water heat pump with an electric power of 1 kW with an average heat transfer coefficient of 3.58 was used.

Введение. Увеличивающееся использование ископаемого топлива и другие причины, вызванные человеческой деятельностью, приводят к значительным выбросам парниковых газов в атмосферу, в том числе и углекислого газа (CO₂), из-за чего растет угроза глобального потепления, изменения климата и связанных с этих последствий. Решение антропогенного воздействия требует комплексного подхода во всех сферах жизни людей. По данным IEA в отчете отслеживания прогресса в области чистой энергии за 2021 год [1], к строительной отрасли относят около 37% общемировых выбросов CO₂ (17% относится к эксплуатации гражданских зданий) и 36% энергетических затрат (22% относится к эксплуатации гражданских зданий).

В связи с возрастающей стоимостью использования ископаемых невозобновляемых топлив и их дефицита существует потребность в снижении зависимости от импортируемой энергии путем уменьшения ее использования с помощью энергоэффективных технологий, а также использования локальных возобновляемых источников энергии. Так за период с 2009 по 2019 год процент использования возобновляемых источников энергии в зданиях возрос с 10.7 до 14.7% [1]. Для снижения углеродного следа при эксплуатации зданий предлагается внедрение принципов солнечной архитектуры. Солнечная архитектура – это архитектурный подход в построении зданий, который использует возобновляемую солнечную энергию и энергоэффективные технологии. Архитектурный подход заключается в оптимизации ориентации здания, компоновки помещений и размещения светопрозрачных конструкций, вида и наклона кровли, на которой могут размещаться активные технологии преобразования солнечной энергии. Принципы солнечной архитектуры включают в себя мероприятия по снижению теплопотерь ограждающих конструкций, сокращение потребления энергии (энергосбережение) за счет энергоэффективных технологий: осветительных приборов, бытовой техники, систем рекуперации вентиляционных выбросов, систем отопления с использованием технологий «теплый пол» и тепловых насосов. Данные принципы позволяют переходить к созданию «пассивных» (здания с высоким классом энергоэффективности и низким углеродным следом) и «активных» зданий (здания с высоким классом энергоэффективности, производящие энергию из возобновляемых источников и передающие ее в сеть) [2].

Наибольшую теоретическую часть работы составляют результаты исследований солнечной архитектуры и ее использования учеными Д. Торп [3], Т. Кун [4], Ж. Пенг [5], А.К. Атиенити и М. Сантамурис [6], Г. Оливети [7], Ю. Кантерс [8]. В области проектирования и разработки энергоэффективных технологий известны работы: Н. Р. Авезовой [9], Ф. Стази [10], У. Эйкер [11], С.Н. Бозми [12], Ф. Асдрубали и У. Дизедери [13]. Активно внедряют в своих проектах отдельные принципы солнечной архитектуры известные архитекторы Н. Фостер, Дж. Бере, И. Бьярке.

Целью работы является формирование методики внедрения принципов солнечной архитектуры при строительстве зданий и сооружений и апробация на примере жилого здания в Калининградской области России.

Задачами работы является: анализ архитектурных и технологических решений энергоэффективного строительства, классификация принципов солнечной архитектуры, технико-экономический анализ энергоэффективной модели здания с предложенными принципами и решениями.

Методы и материалы. Принципы солнечной архитектуры в гражданском строительстве предусматривают внедрение решений по ориентации здания относительно сторон света, проектировании наружных ограждающих конструкций с увеличенными теплозащитными свойствами, максимизации притока естественного освещения и минимизации притока солнечного излучения в теплое время года, использование возобновляемых видов энергии и энергосберегающих технологий при энергоснабжении.

Мероприятия пассивной солнечной архитектуры позволяют сократить значительную часть потребностей здания в отоплении в холодное время года за счет оптимально ориентированной энергосберегающей наружной оболочки, предотвращающей потери тепловой энергии, а также за счет максимизации притока солнечной энергии с помощью оптимального размещения энергоэффективных светопрозрачных ограждающих конструкций. Для минимизации мощности обогревательных приборов применяются технологии теплового аккумулирования – поглощение солнечной энергии путем прямого воздействия в течение дня с помощью конструкций с высокой термической массой и последующей отдачей в помещение (например, стена Тромба с применением программируемой системы вентиляции). Значительное влияние на энергоэффективность здания оказывают мероприятия по повышению коэффициента сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций. Для оконных и балконных проемов используется, в зависимости от климатических условий, двойной или тройной стеклопакет с заполнением инертным газом в промежутках между стеклами, а также наносятся специальные теплоотражающие покрытия на поверхности стеклопакета. Для снижения потребления электрической энергии возможно применение солнечных световых туннелей, обеспечивающих приток естественного освещения в течение дня. Для уменьшения потребности в охлаждении здания в теплое время года возможно применение раздвижных маркиз или стационарных навесных конструкций для предотвращения попадания прямых солнечных лучей на светопрозрачные конструкции.

К мероприятиям активной солнечной архитектуры относится использование солнечных тепловых коллекторов и фотоэлектрических модулей. Установка этих приборов должна выполняться под оптимальным углом к горизонту для максимизации солнечного притока в течение года. В связи с нестабильным поступлением солнечной энергии для оптимального использования этих приборов применяются аккумуляторы энергии. Солнечные тепловые коллекторы могут использоваться как в системе отопления, так и для обеспечения горячего водоснабжения. В регионах с относительно низким солнечным поступлением в холодное время года рекомендуется применение солнечных тепловых коллекторов в составе системы горячего водоснабжения. Солнечные фотоэлектрические мо-

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

дули используются частично или полностью для покрытия потребности в электрической энергии. Они могут располагаться на фасаде, в составе кровли или отдельно от здания, дополняя его визуальное восприятие, как современного энергоэффективного здания. Также к активным мероприятиям относится использование ветроэнергетических установок для электроснабжения. Избыток энергии в случае с солнечными фотоэлектрическими модулями и ветроэнергетическими установками может храниться в аккумуляторной батарее, либо продаваться в общую электрическую сеть.

Для сокращения энергопотребления здания и повышения его энергетических характеристик применяются мероприятия: энергосберегающая бытовая техника и система освещения, теплые полы и тепловые насосы для отопления, управление всеми системами энергоснабжения с использованием технологий «умный дом», рекуператоры в системах вентиляции.

Предложенные мероприятия для внедрения в малоэтажном энергоэффективном строительстве классифицированы по трем признакам солнечной архитектуры (табл.1) [14, 15].

Таблица 1

Классификация принципов солнечной архитектуры применительно к малоэтажному строительству

Классификационные признаки		
Пассивные мероприятия солнечной архитектуры	Активные мероприятия солнечной архитектуры	Энергоэффективные и энергосберегающие мероприятия
<p>Оптимальная ориентация здания относительно сторон света.</p> <p>Повышение теплоизоляционных свойств наружных ограждающих конструкций.</p> <p>Оптимальное расположение оконных и балконных светопрозрачных конструкций.</p> <p>Внедрение энергоэффективных стеклопакетов.</p> <p>Аккумулирование солнечной энергии (стена Тромба и др.).</p> <p>Использование солнечных туннелей для освещения.</p> <p>Использование навесных конструкций для снижения солнечного теплопоступления в теплое время года.</p>	<p>Внедрение солнечных фотоэлектрических модулей для электроснабжения.</p> <p>Использование солнечных тепловых коллекторов для горячего водоснабжения и отопления.</p> <p>Интеграция фотоэлектрических элементов в светопрозрачные конструкции.</p> <p>Использование ветроэнергетических установок для энергоснабжения зданий.</p>	<p>Использование энергосберегающей бытовой техники и осветительных приборов.</p> <p>Оптимизация энергопотребления с использованием системы «Умный дом».</p> <p>Вторичное использование тепла вентилируемых выбросов.</p> <p>Использование низкопотенциального геотермального теплоснабжения на основе тепловых насосов.</p>

Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [16], выделяется 5 основных классов энергосбережения жилых и общественных зданий: «Е» («низкий»), «D» («пониженный»), «С» («нормальный»), «В» («высокий»), «А» («очень высокий»). Классы «В» и «А» рекомендуются к экономическому стимулированию, т. к. их энергетическое потребление на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше на 15–40% для класса «В» и от 40% для класса «А» по сравнению с нормируемым показателем. При этом класс «А» разделен на

подклассы «А+» и «А++» – у зданий подкласса «А+» энергетическое потребление на отопление и вентиляцию меньше на 50–60%, и у подкласса «А++» – более 60%. Класс энергосбережения определяется проведением теплотехнических расчетов с использованием методики создания энергетического паспорта объекта [16]. Оптимальное применение принципов солнечной архитектуры позволяет создавать здания с энергосбережением класса «А+» и «А++».

Результаты. На основе предложенной классификации принципов солнечной архитектуры с использованием технологий информационного моделирования выполнен проект коттеджа площадью 99.4 м², расположенного в Калининградской области Российской Федерации. В проекте оптимизирована архитектурно-планировочная ориентация здания, зонированы помещения по функциональному назначению, размещены оконные и балконные проемы относительно сторон света, использована выдвижная маркиза для защиты от попадания прямых солнечных лучей в теплое время года, оптимизировано размещение солнечных фотоэлектрических панелей, теплового коллектора и рекуперационных вентиляционных выводов [17]. Архитектурно-планировочные решения здания представлены на рис. 1.



Рис. 1. Архитектурно-планировочные решения здания

1 – солнечные фотоэлектрические панели, 2 – солнечный тепловой коллектор, 3 – выдвижная маркиза, 4 – рекуперационные каналы

Для оптимизации положения и параметров солнечного теплового коллектора (СТК) и фотоэлектрических панелей (СФП) выполнены расчеты угла наклона южного ската кровли. В результате расчетов оптимальный угол наклона кровли для максимизации выработки энергии в летнее время составил 40°.

На основе методологии создания энергетического паспорта [16] выполнены теплотехнические расчеты ограждающих конструкций и внедрены теплозащитные мероприятия в конструкциях стен, перекрытий, полов. Снижено потребление энергии на отопление в течение отопительного сезона за счет увеличения энергоэффективности наружной оболочки здания на 52.7%, что составило $5773 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{год}}$. Это позволило обеспечить класс энергосбережения здания «А+» с удельной характеристикой расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию равным $0.244 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3\cdot\text{К}}$.

Для отопления помещений использована технология теплых полов и применен воздушно-водяной тепловой насос Viessmann Vitocal AWS/AWS-AC 104 электрической мощностью 1 кВт с сезонным фактором производительности 3.58 совместно с электрическим водонагревателем, установленным в буферной емкости для покрытия потребности в тепловой энергии при пиковых нагрузках и температуры окружающего воздуха ниже -10°C . Расчетное потребление электрической энергии на отопление в течение отопительного сезона составляет 1595.7 кВт-ч. При этом 98.6% электрической энергии потребляется тепловым насосом, 1.4% – электрическим водонагревателем.

При обосновании параметров теплового насоса использовалась методика [18], согласно которой должно обеспечиваться покрытие тепловых потерь здания выходной мощностью теплового насоса [19] при изменении наружной температуры воздуха от -5 до 0°C и температуры теплоносителя системы отопления $+35^{\circ}\text{C}$. Внедрена следующая схема использования теплового насоса: в холодное время года для отопления используется система теплый пол, которая соединена с тепловым насосом теплообменниками в буферной емкости. Избыток энергии теплового насоса может быть направлен на горячее водоснабжение, а при пиковых нагрузках и для срочного обогрева помещений может использоваться кондиционер, через который также проходит теплоноситель. В теплое время года тепловой насос используется для охлаждения помещений с помощью того же кондиционера.

Горячее водоснабжение организовано с использованием СТК. Для оптимальной работы СТК приход солнечной энергии должен покрывать 50–60% необходимой тепловой энергии для горячего водоснабжения в течение года (коэффициент замещения тепловой энергии СТК в течение года f) [20].

Разработана методика определения выработки энергии СТК в зависимости от прихода солнечной энергии за каждый час в течение года, характеристик и площади СТК, реализованная в программе Excel.

Мощность солнечного излучения, приходящая на поверхность СТК (E_{solar} , Вт) рассчитана по следующей формуле:

$$E_{solar} = \eta \cdot G \cdot A,$$

где η – КПД СТК; G – мощность суммарного солнечного излучения на наклонную поверхность, $\text{Вт}/\text{м}^2$; T_1 – температура теплоносителя на входе в СТК, $^{\circ}\text{C}$; A – общая площадь СТК, м^2 .

Для определения КПД СТК η использована формула:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{T_1 + T_2 - T_{amb}}{G} - k_2 \frac{(T_1 + T_2 - T_{amb})^2}{G},$$

где η_0 – оптическая эффективность СТК; k_1, k_2 – коэффициенты потерь СТК первого и второго порядка; T_2 – температура теплоносителя на выходе из СТК $^{\circ}\text{C}$; T_{amb} – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Температура T_2 на выходе из СТК определяется по следующей формуле:

$$T_2 = T_1 + \Delta T_{solar} = T_1 + \frac{E_{solar}}{q \cdot C_{pw}},$$

где q – поток теплоносителя в СТК, $\text{кг}/\text{с}$; C_{pw} – удельная теплоемкость теплоносителя, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

Для определения годового объема производства энергии от СТК, расходуемой на горячее водоснабжение (Q_{solar} , Вт·ч), использована следующая формула:

$$Q_{solar} = \sum_{i=1}^{8760} q \cdot C_{pw} \cdot (T_{2(i)} - T_{b(i)}) \cdot t$$

где i – текущий час года, T_b – температура воды в бойлере, °C; t – расчетный промежуток времени (1 час), ч.

Для обеспечения работы горячего водоснабжения в зимнее и ночное время используется электрический подогреватель, либо тепловой насос. Для определения коэффициента замещения тепловой энергии СТК в течение года (f) использована следующая формула:

$$f = \frac{Q_{solar}}{\sum_{i=1}^{8760} El(i) \cdot t},$$

где El – электрическая мощность, необходимая для подогрева воды в бойлере, Вт.

С использованием разработанной методики и каталога солнечных тепловых коллекторов Viessmann Vitosol 200-T [20] выбран СТК Vitosol 200-T Type SP2A с 36-ю вакуумными трубками общей площадью 4.5 м². Созданная система горячего водоснабжения с использованием СТК обеспечила замещение 58.8% необходимой тепловой энергии для горячего водоснабжения или 2658 из 4567 кВт·ч в год. Оставшаяся часть тепловой энергии покрывается тепловым насосом и электрическим водонагревателем, установленным в бойлере.

Схема системы горячего водоснабжения с использованием вакуумированного солнечного теплового коллектора Vitosol 200-T Type SP2A представлена на рис.2.

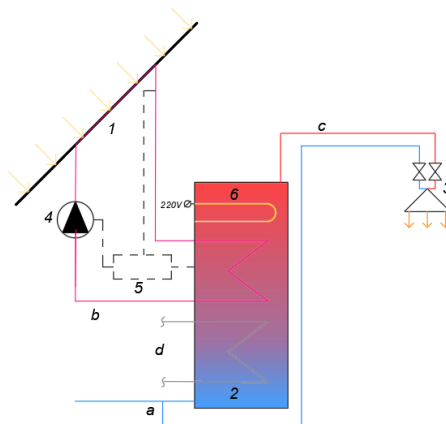


Рис.2. Схема системы горячего водоснабжения с солнечным тепловым коллектором:

1 – солнечный тепловой коллектор, 2 – бойлер, 3 – смеситель, 4 – насос системы циркуляции теплоносителя, 5 – контроллер, 6 – электрический водонагреватель; а – холодная вода, b – теплоноситель, c – горячая вода, d – из контура теплового насоса

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

На рис.3 приведен график суммарного месячного потребления энергии здания на отопление в течение года, полностью покрываемое тепловым насосом (кривая 1). Потребность в горячем водоснабжении представлена на графике кривой 2. Производство энергии СТК представлено на графике кривой 3. Недостающий объем энергии для горячего водоснабжения покрывается ТН и электрическим подогревателем, установленным в бойлере.

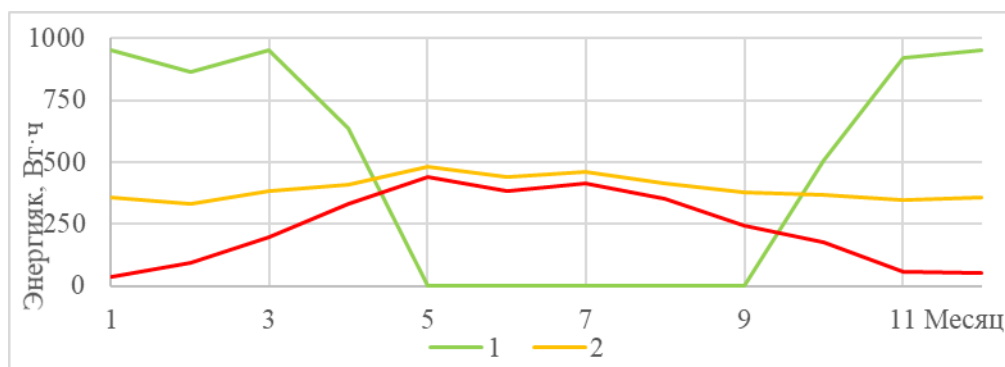


Рис.3. График суммарного месячного потребления энергии здания на отопление и горячее водоснабжение с выработкой от СТК
 1 – потребление энергии на отопление; 2 – потребность энергии для ГВС,
 3 – производство энергии СТК

Для электроснабжения коттеджа предлагается использование солнечных фотоэлектрических панелей (СФП) компании Nevel, как элемента активной солнечной архитектуры. Имеющиеся размеры кровли здания позволяют разместить 9 модулей Nevel NVL-395/HJT с суммарной мощностью 3.56 кВт.

Для определения выработки электрической энергии от солнечной фотоэлектрической системы в течение года, E_{pv} , использована формула:

$$E_{pv} = \sum_{i=1}^{8760} \eta_{pv} \cdot G_i \cdot A_{pv}$$

где η_{pv} – КПД солнечной панели; G_i – приход суммарного солнечного излучения на наклонную поверхность в текущий час года, В/м²; A_{pv} – общая площадь всех солнечных фотоэлектрических панелей, м².

В результате расчетов выработки электрической энергии с помощью СФП, максимальное покрытие потребности в электрической энергии здания при использовании аккумуляторов составило 51% или 4187 кВт·ч. Без использования аккумуляторов покрытие составляет 49% или 4028 из 8220 кВт·ч электрической энергии в год. Учитывая небольшую разницу вариантов состава оборудования, предлагается отказаться от аккумуляторных батарей.

На рис.4 представлен график баланса помесячного потребления (кривая 1) и производства электрической энергии с помощью СФП (кривая 2). Из графика видно, что в летние месяцы электроснабжение почти полностью обеспечивается за счет СФП. В остальные периоды года недостаток энергии восполняется из общей электрической сети.

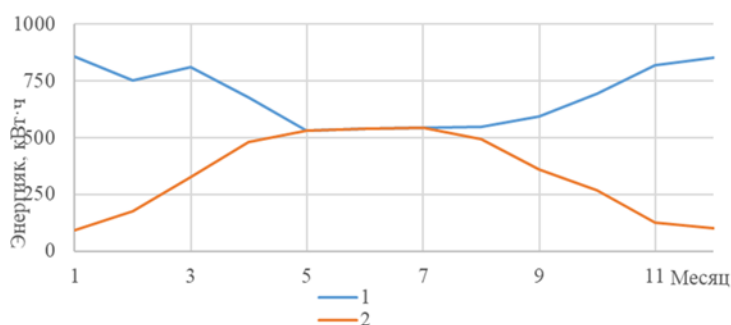


Рис.4. График потребления энергии коттеджем и производства электроэнергии СФП. 1 – потребление электрической энергии, 2 – выработка электрической энергии СФП

Выполненный экономический расчет эффективности предложенных мероприятий, показал, что общие инвестиции в описанные мероприятия составили более 1,1 млн. рублей. При действующих тарифах для сетевого энергоснабжения и принятой ставке дисконтирования 7%, срок окупаемости энергоэффективных мероприятий составил 19 лет.

Обсуждение. Применение принципов солнечной архитектуры обеспечило проектирование пассивного здания с классом энергосбережения «А+» и сокращение потребления энергии на отопление, горячее водоснабжение и электрическую энергию на 72%, т. е. с 27,695 до 7,697 кВт·ч в год. За счет внедрения энергоэффективных технологий и возобновляемых источников энергии снижено около 10 тонн выбросов CO₂ в год (при среднем значении выбросов CO₂ при производстве электрической энергии в России $0.5 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$).

Как следует из результатов исследования, период окупаемости предложенных мероприятий, примененных согласно классификации принципов солнечной архитектуры, при действующих тарифах сетевого энергоснабжения является не очень привлекательным для инвесторов. Однако, при изолированном энергоснабжении и высокой стоимости доставки топлива и производства энергии период окупаемости может быть значительно снижен. Кроме того, достигается экологический и социально-экономический эффект за счет существенного снижения энергопотребления зданий, повышения его энергоэффективности, внедрения местных возобновляемых источников энергии, уменьшения выбросов парниковых газов и углеродного следа.

Для обеспечения создания «активного» здания целесообразно дополнительно разместить солнечные панели на фасаде или отдельно от здания, которые при избытке энергии позволят продавать ее в сеть.

Здания высокого класса энергосбережения рекомендуются к экономическому стимулированию в России, однако, существующие меры не доступны в частном секторе. При наличии стимулирования период окупаемости может значительно сократиться, что сделает применение принципов солнечной архитектуры и в целом строительство энергоэффективных зданий более доступным и привлекательным для населения.

Заключение. Применение принципов солнечной архитектуры позволяют снизить выбросы углекислого газа в атмосферу, вызванные человеческой деятельностью в области строительства.

1. Предложена классификация принципов солнечной архитектуры, в которую входят мероприятия для повышения энергоэффективности здания и производства собственной энергии в рамках мероприятий пассивной, активной солнечной архитектуры, энергоэффективных и энергосберегающих технологий.

2. С использованием предложенной методики и информационного моделирования запроектирован коттедж в Калининградской области с классом энергосбережения «А+» с использованием энергоэффективных мероприятий: система отопления с тепловым насосом «воздух-вода» и системой «теплый пол», солнечный тепловой коллектор для обеспечения горячего водоснабжения, солнечные фотоэлектрические панели для обеспечения электрической энергией.

3. Предложенные мероприятия позволили сократить потребление энергии зданием в течение года на 72 % (с 27695 до 7697 кВт·ч), снизить на 10 тонн выбросы углекислого газа в атмосферу, существенно повысить самообеспеченность дома и снизить зависимость от внешних источников энергообеспечения, работающих на органическом топливе.

4. Применение принципов солнечной архитектуры являются весьма энергетически эффективными мероприятиями и рекомендуются к применению при соответствующем ресурсном обосновании в гражданском строительстве в различных климатических условиях, однако требуют специального нормативно-правового и строительного регулирования и экономического стимулирования.

Литература

1. T. Abergel, and C. Derlmastro, “Tracking Buildings 2021,” International Energy Agency, Nov. 2024. Internet: www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021 (Accessed Aug. 11 2022).

2. V.V. Elistratov, I.V. Bogun, I.G. Kudryasheva, M.V. Romanov, Renewable energy resources and application technologies: textbook, – SPb.: POLYTECH-PRESS, 2022. – 528 p.

3. D. Thorpe, Passive Solar Architecture Pocket Reference. Second edition. New York, NY: Routledge, 2018.: Routledge, 2017, p. 218. doi: 10.4324/9781315751771.

4. T. E. Kuhn, C. Erban, M. Heinrich, J. Eisenlohr, F. Ensslen, and D. H. Neuhaus, Review of Technological Design Options for Building Integrated Photovoltaics (BIPV), Energy and Buildings, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110381.

5. J. Peng et al., Solar energy integration in buildings, Applied Energy, vol. 264, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114740.

6. Athienitis, Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings. Routledge, 2013. doi: 10.4324/9781315074351.

7. G. Oliveti, L. Marletta, N. Arcuri, M. De Simone, R. Bruno, and G. Evola, “Solar Energy,” Building Refurbishment for Energy Performance, pp. 159–214, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-03074-6_4.

8. J. Kanters, M. Horvat, and M.-C. Dubois, "Tools and methods used by architects for solar design," *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 721–731, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.05.031.
9. N. R. Avezova, A. U. Vokhidov, A. A. Farmonov, and N. N. Dalmuradova, "Renewable Energy: Challenges and Solutions," *Applied Solar Energy*, vol. 55, no. 2, pp. 149–152, Mar. 2019, doi: 10.3103/s0003701x1902004x.
10. F. Stazi, *Thermal inertia in energy efficient building envelopes*. Kidlington, Oxford ; Cambridge, Ma: Butterworth-Heinemann Is An Imprint Of Elsevier, 2017, p. 374. doi: 10.1016/C2016-0-00641-1.
11. U. Eicker, "Energy Efficient Buildings with Solar and Geothermal Resources", Jan. 2014, doi: 10.1002/9781118707050.
12. S.-N. Boemi, O. Irulegi, and M. Santamouris, Eds., *Energy Performance of Buildings*. Cham: Springer International Publishing, 2016, p. 552. doi: 10.1007/978-3-319-20831-2.
13. F. Asdrubali and U. Desideri, *Handbook of Energy Efficiency in Buildings*. Elsevier, p. 836. doi: 10.1016/c2016-0-02638-4.
14. С. Е. Красножен, В. В. Елистратов, "Классификация принципов солнечной архитектуры для малоэтажного строительства", *Материалы всероссийской конференции «Неделя науки ИСИ СПбПУ, Санкт-Петербург, 2021.* – С. 368-370.
15. В.В. Елистратов, *Возобновляемая энергетика*. 3-е изд., доп. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. - 424с.
16. СП 50.13330.2012. *Тепловая защита зданий (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003) / Минрегион России.*- М.: 2012. - 96 с.
17. S. E. Krasnozhen and V. V. Elistratov, "Implementation of the principles of solar architecture on the example of a one-story cottage," in *ICE Science Week: Proceedings of the All-Russian Conference, 2022*, vol. 1, 203-206 pp.
18. *Technical manual Heat pumps.*" The Viessmann Group. 2012. - 144 p.
19. *Technical guide Vitocal 200-S.*" Viessmann Limited. 2010. - 64 p.
20. *System Design Guide VITOSOL*, Viessmann Manufacturing Company Inc., 2016.- 112 p.

*Представлено Санкт-Петербургским
политехническим университетом Петра Великого*

UDC 621.311

ENERGY SAVING IN THE HOUSEHOLD: BEHAVIORAL MODELS AND IMPLEMENTATION PROBLEMS**R.A. Burganov, E.R. Altinbayeva, L.R. Urazbaxtina, L.V. Maymakova,
Y.A. Dolonina**

Maqola uglevodorod energiyasining afzalliklaridan oqilona foydalanish, energiyani tejovchi texnologiyalarni ishlab chiqish, energiya ishlab chiqarish uchun tabiiy resurslarni cheklash, shuningdek, energiya tejashda uy xo'jaliklarining xatti-harakatlarini ko'rib chiqishga bag'ishlangan. sotib olingan energiya resurslari narxining oshishi. Uy xo'jaliklarining xatti-harakatlarini tahlil qilishda turli yo'nalishlarda energiya tejashga ta'sir qiluvchi neoklassik yo'nalish metodologiyasi va iqtisodiy nazariyaning institutsionalizmi qo'llaniladi. Tadqiqot natijalarining sifat va miqdoriy ko'rsatkichlari uy xo'jaliklarining energiya iste'molidagi xatti-harakatlarini aniqlashni o'z ichiga oladi (energiyadan foydalanishda aniq alternativalarning yo'qligi, asosiy o'zgaruvchilar uchun tejashning turli darajadagi elastikligi, oqilona xatti-harakatlarga bog'liqligi). tashqi omillar - institutsional, infratuzilmaviy va boshqalar bo'yicha energiya tejashda uy xo'jaliklari; energetika sohasini rivojlantirish bo'yicha me'yoriy-huquqiy bazani doimiy ravishda o'zgartirish uy xo'jaliklarining energiya tejash bo'yicha oqilona xulq-atvorini shakllantirishga yordam bermasligini ta'minlash; qisqa muddatda energiya tejash siyosatini ishlab chiqishda neoklassitsizmning nazariy va uslubiy qoidalaridan foydalanish bo'yicha tavsiyalar va uzoq muddatda institutsional nazariyaning asoslari. Tadqiqot natijalari, shuningdek, uy xo'jaliklarining energiya tejovchi xatti-harakatlarining to'rtta modelini aniqlash va tahlil qilish va ularni real iqtisodiy haqiqatda amalga oshirishdagi muammolar va qiyinchiliklarni aniqlashni o'z ichiga oladi.

Статья посвящена рассмотрению поведения домашних хозяйств в энергосбережении в условиях рационального использования преимуществ углеводородной энергетики, развития энергосберегающих технологий, ограничения природных ресурсов производства энергии, а также роста стоимости покупаемых энергоресурсов. В анализе поведения домашних хозяйств использованы методологии неоклассического направления и институционализма экономической теории, которые влияют на энергосбережение разнонаправленно. К качественным и количественным индикаторам результатов исследования можно отнести определение особенностей поведения домашних хозяйств в энергопотреблении (отсутствие явных альтернатив в использовании энергии, разные уровни эластичности сбережения по основным переменным, зависимость рационального поведения домашних хозяйств в энергосбережении от внешних факторов – институциональных, инфраструктурных и т.д.); положение о том, что постоянные изменения в нормативно-правовой базе развития энергетической сферы не способствуют формированию рационального поведения домашних хозяйств в энергосбережении; рекомендации об использовании при разработке энергосберегающей политике в краткосрочном плане теоретико-методологических положений неоклассицизма, а в долгосрочном плане - основ

институциональной теории. Также к результатам исследования относятся выделение и анализ четырех моделей энергосберегающего поведения домашних хозяйств и определение проблем и трудностей при их внедрении в реальную экономическую действительность.

The article is devoted to the consideration of the households behavior in energy conservation in the context of the rational use of the advantages of hydrocarbon energy, the development of energy-saving technologies, the limitation of natural resources for energy production, as well as the increase in the cost of purchased energy resources. In the analysis of the behavior of households, the methodologies of the neoclassical direction and the institutionalism of economic theory are used, which affect energy saving in different directions. Qualitative and quantitative indicators of the study results include the determination of the behavior of households in energy consumption (the absence of obvious alternatives in the use of energy, different levels of elasticity of savings for the main variables, the dependence of the rational behavior of households in energy saving on external factors - institutional, infra-structural, etc.); the provision that constant changes in the regulatory framework for the development of the energy sector do not contribute to the formation of rational behavior of households in energy saving; recommendations on the use of the theoretical and methodological provisions of neoclassicism in the development of energy-saving policies in the short term, and in the long term the foundations of institutional theory. The results of the study also include the identification and analysis of four models of energy-saving of the households behavior and the identification of problems and difficulties in their implementation in real economic reality.

To solve problems in adapting the economy to modern economic conditions and in improving the energy efficiency of GDP, it is necessary to pay attention to energy saving, which at all levels of energy consumption is the most important factor in economic development, as it helps to save energy resources and reduce the energy intensity of production. The need for a deeper study of energy saving processes is influenced by a number of factors, among which we can highlight the trend towards the rational use of hydrocarbon energy, the development of energy-saving technologies, the limited nature of energy resources, and the growing cost of purchased energy resources. In the global energy sector, a Roadmap to achieve net zero by 2030 has been developed, which notes the importance of creating mechanisms to more effectively promote investments in clean energy in emerging market and developing countries [1].

Basically, all subjects of the economy of the national economy are interested in energy saving. However, in the field of view of state bodies responsible for reducing the energy intensity of production, there are state institutions, sectors of the national economy, and large economic units. And the problems in the formation of an energy-saving culture at the household level remain in the background. This is despite the fact that households consume about 17% of all electricity generated. In the world and in individual countries, there is an increase in energy consumption by households. In the structure of household consumer spending in Russia, housing services, water, electricity, gas and other fuels accounted for 10.8% in 2019, and 11.9%

in 2020 [2]. Electricity accounts for 1.4% in 2019 and 1.5% in 2020.

The need to study the aspects of the households behavior in energy saving is a requirement of our time. Thus, the global commission on urgent action in the field of energy efficiency, following a conference at the International Energy Agency (IEA), recommended the following: "use behavioral ideas for more effective policies. People are at the center of energy efficiency efforts, and an understanding of the behavioral sciences can help develop smarter policies" [3].

When considering the features of modeling the households behavior in energy conservation, various theoretical and methodological exercises can be used. Accordingly, the obtained scientific and practical results may differ, or even be in conflicting positions. In particular, the recommendations of representatives of institutionalism and neoclassicism can be implemented in different directions. The modern model of energy-saving behavior of households involves the use of the latest energy-saving technologies. Institutional elements of society such as "smart home", "smart city", "smart networks" are already actively used in the daily life of the country's inhabitants. But, for their stable functioning, a large amount of energy resources and the presence of an effective market structure of the economy are necessary.

In conditions of economic instability, there is a certain transformation in the energy-saving behavior of households. The editor of the newspaper "Energy and Industry of Russia" Presnyakov V. noted that "the experience of the Soviet era of thoughtless use of water and heat without any counters in the memory of many. Yes, electricity is metered, but cheap. And all this played a cruel joke. In the public mind, calls to save resources have long been perceived as general and optional wishes. Psychologically, many were not ready to move to rationality [4].

Households can simultaneously act as consumers and producers of energy. In general, the households behavior in the energy market is defined as actions based on their ability and desire to acquire an energy resource (demand for energy) and their willingness as a seller to provide this product for a certain fee (supply of energy) [5]. It should be noted that the concept of "energy" has a broad understanding, and not only as electricity. It includes various types of used and produced energy (thermal, mechanical, etc.), including human. In all cases, the leitmotif of household behavior is the maximization of financial or other benefits, usually through savings in the use of energy of any kind. As a rule, the principle "the less energy is spent, the less the payment for it" is actively applied by the majority of the population.

At the same time, it is necessary to take into account the fact that many situations of modeling the behavior of electricity consumers during energy saving are characterized by the simultaneous demand for many alternatives that can be substitutes or vice versa. The economy of energy includes not only the reduction of the amount of energy used, but also the "shuffling" of its various types. In such cases, a simple and economical multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) econometric approach can be applied.

Any consumer of goods in market conditions evaluates the parameters (quality) of goods and services. But, in the field of energy consumption, information about the quality of this product is not provided to households, which is unusual for a market economy.

As we know, the neoclassical direction of economic theory has many scientific schools, concepts, and teachings. D. Colander notes that the concept of "neo-

classicism" has expanded today. First, a wide variety of mathematical methods allow economists to work with complex systems, structural shifts: multiple equilibria, i.e. explore questions that were previously unanswered. Second, modern developments in theory, coupled with the latest developments in psychology, experimental economics, and evolutionary game theory, enable researchers of economic behavior to explore and test a variety of premises, rather than accepting the rather sterile rationality premise characteristic of neoclassical theory of the past [6].

Of particular importance in the analysis of modeling the energy-saving behavior of households is the theory of rational expectations. Ideally, a household should have complete information and possess the tools of energy competence and, on their basis, make decisions that maximize their benefits and, accordingly, minimize the degree of risk in energy saving. Such behavior of households is called rational. On this basis, models of supply and demand in the energy market are built. The irrational side of the households behavior includes examples that arise as a result of improper operation of energy receiving devices; ignoring periods of energy use, not taking into account factors that affect energy demand, such as emotional highs as a result of waiting and holding family events, etc.

But, the theory of rational expectations is idealized and serves as a tool for substantiating the behavior of an economic subject in the chosen field of activity. Household behavior can be affected by technical and technological failures in energy consumption. For example, sometimes electrical networks cannot withstand the simultaneous switching on of several loads (heaters, electric kettles, washing machines), and safety devices are triggered, the network is turned off. Then the choice arises: which of the tasks have the highest priority and what needs to be connected first. In solving this issue, you can use the modern method - an automatic device that is given the task: to control the order of switching on and off electrical appliances. One has only to set the current consumption threshold in the circuit, which is defined as a priority, with a potentiometer on the relay panel. If it is exceeded, the relay turns off the non-priority electrical circuit. Reducing the current consumption in the priority circuit below the set value leads to the automatic connection of a non-priority circuit. Unfortunately, this approach to electricity consumption is owned by a minimum number of households.

In addition, the total energy consumption of a household depends on the consumption of all family members, respectively, on the individual behavior of each of them. Some aspects of the importance of individual energy consumption for human development and well-being are considered in the work of Giovanni Frigo [7].

When modeling the behavior of households in energy consumption from the perspective of neoclassicism, it is necessary to focus on the following features/

Firstly, the absence of obvious alternatives in the use of energy, in theory there is such an alternative, but in practice the conditions for choosing the types of energy used have not yet been created. It should be noted that some work in this direction is underway.

Second, there are different levels of elasticity of savings with respect to the main variables. For example, saving electricity is price elastic. Tariffs (prices) per kWh of energy are growing, and the amount of savings is increasing. And the demand for electricity itself is malelastic. Salisg A.A. can be distinguished among the

researchers. and Ayende T.O. [8]. However, when considering the consumption of other types of energy, the indicators of demand for them differ. Thus, the demand of households with and without district heating is different. And the elasticity here is different. A well-known model in the form of a demand surface for the essential goods of passive demand is in the “price-volume-income” space, when income will be a criterion for the uniformity of group formation. This model should be transformed when using of different types of energy.

Thirdly, the dependence of the rational behavior of households in energy saving on external factors - institutional, infrastructural, etc., which can be divided into main and secondary ones. These factors are often variable.

Energy-saving behavior of households from the point of view of game theory is characterized by uncertainty. The content of game theory is deeply considered in the work of Camerer C. [9]. Households can take certain proactive energy saving steps. In particular, when buying energy-receiving devices, reconstructing premises, building a house. However, this does not fit the essence of game theory. There must be interaction between the energy consumer and the energy supplier. But information about energy suppliers is incomplete. An integrated element is the price of future energy supplies.

The lack of energy resources, as well as their cost, can predetermine the behavior of households aimed at creating conditions for energy production based on housekeeping. If there is a certain potential for energy production, opportunities are created for its further distribution for a certain fee. In this direction, the state has taken a number of measures to support the generation of electricity by small economic entities, including households. That is, households can create alternative energy sources themselves. But, the question arises about the accumulation of energy in special devices (household batteries) and their legal support. Formation of the infrastructure for the generation and consumption of all types of energy, including human energy, is the task of today.

In the arsenal of the state and the business structure of the energy sector, there are many tools to motivate the energy-saving behavior of households, but this process takes quite a long time. It should also be noted the factors hindering the formation of rational behavior of households, in particular, the constant change in the regulatory framework for the development of the energy sector.

In general, an in-depth study of trends and patterns of transformation in the households behavior in the consumption of energy of any kind is in demand by the scientific community and government bodies and industry policy. The institutional model of interaction between the national economy and the electric power industry is considered in the author's work [10, 11]. In the context of the formation of a digital society and economy, transformational changes are objectively taking place in the energy-saving behavior of households, which should be carried out flexibly and taking into account the level of preparedness of energy consumers for innovations. When modeling government programs in the field of energy conservation, it is necessary to take into account the presence of a large number of theoretical and methodological provisions that consider the features of the mechanism for using different types of energy, among which neoclassical (market) provisions occupy a special place, since they directly affect the formation of household behavior in energy saving in the short term. plan.

For an ordinary consumer, reducing the unreasonable use of energy can lead to significant savings in their own costs, since in Russia about 20-30% of the income of an average citizen is spent on housing and communal services [12].

At the same time, in the long term, it is necessary to take into account the foundations of institutional theory, since a change in the functioning of energy institutions takes a long time lag.

In general, more than ten models of energy saving are implemented in the field of energy economy, including technological, moral, market, regulatory and wasteful ones [13].

The technological model includes energy saving through optimization or application of new technologies and power receivers. So, for example, it is worth paying attention to lighting, incandescent lamps and fluorescent lamps should be replaced by LED light sources, since their consumption with the same luminous flux is much lower [14]. Unsustainable use refers to the background standby power consumption of, for example, computers, etc. Heat energy can be saved by installing reflective panels near the radiators along the wall, they prevent the wall from heating up and reflect infrared radiation into the room. Also, do not forget about the installation of thermostats on radiators, which allow you to adjust the room temperature depending on weather conditions. The main problems of implementing the technological model are:

1) Low income level of the population, the state of poverty (according to Rosstat in 2021, 15% were below the poverty line in Russia);

2) The high cost of new technologies and equipment;

3) There is no corresponding infrastructure. For example, in Japan, unlike Russia, there is no central heating, since this country is a small island nation that does not have carbon fuel reserves. Central heating would have been too expensive for citizens, and in order to save money, the Japanese had to abandon this type of residential heating. In turn, this became possible due to the mild climate in the country;

4) Low level of personnel readiness. For example, in world practice there is a biogas production technology that is not widely used in the Russian Federation, one of the reasons is the lack of highly qualified personnel necessary for the safe and efficient use of this technological process;

5) Lack of certified domestic equipment. The use of the homemade equipment carries a great risk to the prosperity of the economy and the lives of workers. Ordering imported equipment incurs colossal costs that domestic economies cannot afford;

6) Cheapness and availability of natural gas. This means that the economic effect is not so high and the payback period becomes longer, these factors cannot afford new and only growing economies. This includes passive house technology, which has become widespread in Europe, and in particular in Germany.

The main barriers preventing the introduction of a moral model into energy-saving practice in Russia are [15]:

1) People lack understanding of the role of personal consumption in its impact on the environment;

2) An established way of life that has social and environmental costs. Further

research is needed on "consumerism" to determine its impact on the environment;

3) Fear that the behavior will not be socially approved and shared by others and thus will not affect the general background of inaction. To remove this barrier, it is necessary to introduce the understanding that the coordinated actions of people who independently do the same thing can lead to the desired effect;

4) Low susceptibility of the population to innovations;

5) Transformation of education in the field of energy saving from childhood to adulthood;

6) Low level of energy literacy of the population in households.

The main problems of implementing the market model in practice are:

1) The market in the energy sector is imperfect, for example, in the Republic of Tatarstan, the production of electricity is monopolized by JSC "Tatenergo", and the transmission of electricity from the place of generation to consumers is carried out by JSC "Grid Company" [16];

2) The household does not participate in the choice of energy suppliers;

3) Conditions for market trade in the energy sector have not been created;

4) Imperfection of normative-legal documents. It should be noted that Russia recently adopted the Law on Microgeneration of Electricity. This direction allows to stimulate the growth of the share of electricity generation by alternative energy sources, allowing to save the environment in the world. In Russia, this method of saving has not yet become widespread, the main problems are the high price of equipment and the lack of incentives from the state.

The reasons for the difficult implementation of energy savings according to the regulatory model are:

1) Constant change in regulatory documents on energy saving, it is desirable to introduce a moratorium for about 2-3 years on energy saving laws;

2) The absence of strict standards from the state for produced and sold energy-consuming devices;

3) Inadequate legal policy in the field of energy and the environment, expressed in fuel subsidies, transport planning, building codes, etc.

The wasteful model includes the irrational use of electrical energy:

1) When lighting a room, for example, using too powerful a light source, or too many light sources, creating a strong luminous flux, which not only leads to energy costs, but is also harmful to health.

2) Lighting of unused rooms, for example, a person came from the hall to the kitchen, drank a glass of water, and went back, leaving the light in the kitchen on, or in another case, he remains in the kitchen with the light on in the corridor.

Conclusions. Thus, the households behavior in energy conservation is based on various theoretical and methodological teachings, among which the concepts of institutionalism and neoclassism are basic. A special role in shaping the energy-saving behavior of households is played by the theory of rational expectations and game theory. In the long run, the concepts of institutional theory are valuable, which mainly depend on the time lag.

An analysis of the technological, moral, market, regulatory and wasteful behavior patterns of households in energy consumption made it possible to highlight their implementation problems on a practical plane. In particular, the main problems of introducing a technological model are the low level of income of the population,

the high cost of new technologies and equipment; lack of an efficient energy saving infrastructure, etc. The problems of the moral model of energy saving include an established way of life, low susceptibility of the population to innovations; transformation of education in the field of energy saving from childhood to adulthood; low level of energy literacy of the population. The main problems of putting the market model into practice are the imperfection of the energy market, the lack of conditions for market trade in the energy sector, and the imperfection of legal documents. In the regulatory model, important problems are the constant changes in regulatory documents on energy saving, the lack of strict standards on the part of the state for manufactured and sold energy-consuming devices; imperfect legal policy in the field of energy and environment, etc. The wasteful model includes the problems of irrational use of all types of energy, lack of awareness of the importance of energy conservation for the country.

At the same time, it is necessary to take into account the fact that the model is formed on the basis of essential and key properties and cannot take into account numerous additional and auxiliary factors of its existence, which may even contradict each other. But, clearly, without the adoption of specific and sufficient incentive measures by the state, effective energy-saving behavior of households is not formed.

Acknowledgments: The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-010-00099 “Theoretical and methodological approaches to the development of models of energy-saving behavior of households in a nature-like economy.

References

1. Empowering Cities for a Net Zero Future. International Energy Agency (2021). July 2021. p.111. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d5c939d-9c37-490b-bb53-2c0d23f2cf3d/G20EmpoweringCitiesforaNetZeroFuture.pdf>.
2. Reditus, impensa et consumptio familiarum. Statisticheskij byulleten' Rosstat [Statistical Bulletin of Rosstat]. 2021. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13271>. (in Russian)
3. Recommendations of the Global Commission for Urgent Action on Energy Efficiency (2020). Report — June 2020. URL: <https://www.iea.org/news/national-leaders-key-ministers-top-business-executives-and-other-international-figures-announce-10-recommendations-to-rapidly-boost-energy-efficiency-progress-worldwide/>.
4. Presnyakov V.A. Gendarmes et advenae in industria efficientia // Energetika i promyshlennost Rossii [Energy et industria Russia]. 2020. No. 13-14. P. 14. (in Russian)
5. Burganov R.A. Energopotrebitel'skaya teoriya firmy: monografiya [Energy Consumptio Theoria Firmi: Monograph]. – Moscow: Prospect, 2021. 96 p. (in Russian).
6. Colander D. Why Aren't Economists as Important as Garbagemen? N.Y.: 1991. Pages 190. <https://doi.org/10.4324/9781315489056/>
7. Frigo G., Baumann M. & Hillerbrand R. Energy and the Good Life: Capabilities as the Foundation of the Right to Access Energy Services // Journal of Human Development and Capabilities, 2021. Vol. 22, No. 2, pp. 218–248.

URL:<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19452829.2021.1887109>.

8. Salisu Afeees A and Ayende Taofeek O. Modeling energy demand: Some emerging issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 54. Page 1470-80. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.121>

9. Camerer Colin F. *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction*. Princeton: Princeton University Press, 2003. p.568.

10. Burganov R.A. Exemplar institutionale commercii inter oeconomiam nationalem et industriam electrica vim // *NIR. Ekonomika*. 2016. No 8. Page. 7-13. DOI: [10.12737/22920](https://doi.org/10.12737/22920).

11. Burganov R.A., Altynbaeva E.R. The solution of institutional problems as a factor in the stable development of the electric power industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. [Izvestiya of higher educational institutions. Energy problems]. 2014. No. 9-10. Page 111-115. (in Russian).

12. Tsybatov V.A. Economic growth as the most important factor in reducing the energy intensity of the gross regional product. *Economics of the region*. 2020. №3.

13. Burganov R.A. *Energy-consuming theory of the firm: monograph*. - M.: Prospekt, 2021. 96 p.

14. Popova S.N. Educational and technical solutions to the problem of introducing solar energy. *Innovations and investments*. 2020. №1.

15. Bury O.V. Management of behavioral strategies when concluding energy service contracts in the public sector and the household sector. *Journal of Economic Theory*. 2020. №1.

16. Palamarchuk, A.G. Analysis of the current state of energy saving in the Russian industry. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 2020. №2.

*Presented by Kazan State
Energy University*

UDC 621.311

**SMART AND RESILIENT INFRASTRUCTURE AS MAJOR STRATEGY
FOR ENERGY AND RESOURCE SAVING IN STRUCTURAL
PRESERVATION AND CONSTRUCTION****Sh.M. Takhirov**

Ушбу мақола қурилиш ва саноат соҳасида энергия ва ресурсларни тежашга қаратилган. Дунё аҳолисининг узлуксиз ўсиши туфайли мавжуд инфратузилмани сақлаб қолиш ва аҳоли сонининг ўсишини қўллаб-қувватлаш учун янги инфратузилмани қуришга талаб юқори. Натижада, инфратузилманинг манфаатдор томонлари(1) мавжуд инфратузилманинг эскириш муаммоларини ҳал қилиш ва унинг умрини узайтириш учун янги мониторинг қилинишини таъминлаш(2), янги қурилишни лойиҳалаш ва қуришни таъминлаш орқали қисман ҳал қилиниши мумкин бўлган янги муаммоларга дуч келмоқда, бу унинг чидамлилигини таъминлайди. Иккинчиси, айниқса, давом этаётган иқлим ўзгариши шароитида муҳим аҳамиятга эга, бу эса инфратузилмани янада мураккаб ва экстремал экологик шароитларга мослашини талаб қилади. Беркли Калифорния университети (УСБ) тадқиқотчилари бир неча ўн йиллар давомида мавжуд инфратузилмани сақлаб қолиш ва янги бардошли инфратузилмани қуриш техникаси билан боғлиқ муаммолар устида ишламоқда. Бу ишларнинг барчаси яқинда УСБда Смарт инфратузилма марказининг ташиқил этилишига олиб келди. Ушбу мақолада УСБда олиб борилган ишларнинг бир нечта мисоллари кўрсатилган. Бунга мисол қилиб яқинда АҚШ, Қирғизистон ва Ўзбекистон мутахассислари билан мавжуд гидроэлектр станция (ГЭС) структурасини сақлаб қолиш бўйича қўшма лойиҳани келтириши мумкин. ГЭС тўғони турли хил датчиклар билан жиҳозланган. Датчиклар томонидан тўпланган маълумотларга мос келадиган тарзда созланган тўғоннинг рақамли модели яратилди. Турли юклаш шароитларида ГЭС тўғонининг рақамли симуляцияси манфаатдор томонларга унинг келажакдаги ишлашини башорат қилиш ва юзага келиши мумкин бўлган муаммоларни юзага келишидан олдин ҳал қилиш имконини берди. Иккинчиси ресурсларни сезиларли даражада тежашга олиб келади, чунки тўғонни таъмирлаш ёки тўлиқ қайта қуриш жуда қиммат вариант. Мавжуд ва қурилаётган инфратузилмани “ақли” инфратузилмага айлантириши гоёси “Ақли” инфратузилма марказининг асосий гоёси ҳисобланади. Юқорида айтиб ўтилганидек, барқарор инфратузилмани қуриш энергия ва ресурсларни тежашга ҳам олиб келади. Бардошли инфратузилмани лойиҳалаш ва қуришининг намунавий мисоли сифатида юқори волтли ускуналарни сейсмик изоляция ва дамнинг қурилмалари билан ҳимоя қилишга асосланган ёндашув муҳокама қилинади. Сейсмик изоляция ва амортизаторлар одатда биноларни қуришда қўлланилса-да, бу қурилмалар электр тармоғи элементларини лойиҳалашда ўз йўлини топмоқда. Мақолада УСБда ҳимоя ёндашувлари ва ҳимоя воситалари бўйича кўп йиллик экспериментал ва рақамли дастур натижалари муҳокама қилинади. Ушбу тадқиқот натижалари ИЭЭ693 стандартига янги қўшимчалар ва ўзгартиришларни тайёрлаш ва текширишда ишлатилган.

Данная статья посвящена энерго- и ресурсосбережению в строительстве и в промышленности. В связи с непрерывным ростом населения мира существует высокий спрос как на поддержание существующей инфраструктуры, так и на создание новой инфраструктуры для поддержки роста населения. В результате заинтересованные стороны инфраструктуры сталкиваются с новыми проблемами, которые можно частично решить, обеспечив (1) надлежащий мониторинг существующей инфраструктуры для решения проблем ее старения и продления срока ее службы и (2) новое строительство, которое спроектировано и построено таким образом, что обеспечивает его устойчивость. Последнее особенно важно в условиях продолжающихся климатических изменений, требующих большей адаптации инфраструктуры к более сложным и экстремальным условиям окружающей среды. Исследователи Калифорнийского университета в Беркли (UCB) уже несколько десятилетий работают над проблемами, связанными с сохранением существующей инфраструктуры и методами построения новой, более устойчивой инфраструктуры. В результате всей этой работы недавно в UCB был создан Центр интеллектуальной инфраструктуры. Эта статья показывает несколько примеров работы, проведенной в UCB. В качестве примера можно привести недавний совместный проект с экспертами из США, Кыргызстана и Узбекистана по консервации существующей гидроэлектростанции (ГЭС). Плотина ГЭС была оснащена различными датчиками. Была создана численная модель плотины, которая была откалибрована в соответствии с данными, собранными датчиками. Численное моделирование плотины ГЭС при различных условиях нагрузки предоставило заинтересованным сторонам инструмент, который может прогнозировать ее будущие характеристики и решать возможные проблемы до их возникновения. Последнее приводит к значительной экономии ресурсов, поскольку ремонт или полная реконструкция плотины являются очень дорогими. Эта идея превращения существующей и строящейся инфраструктуры в «умную» инфраструктуру является основным видением Центра интеллектуальной инфраструктуры. Как упоминалось ранее, создание устойчивой инфраструктуры также приводит к экономии энергии и ресурсов. В качестве репрезентативного примера проектирования и строительства устойчивой инфраструктуры обсуждается подход, основанный на защите высоковольтного оборудования с помощью сейсмоизоляционных и демпфирующих устройств. В то время как сейсмоизоляция и демпферы широко используются в строительстве зданий, эти устройства проникают в проектирование элементов электросетей. В статье обсуждаются результаты обширной многолетней экспериментальной и численной программы по подходам к защите и устройствам защиты в UCB. Результаты этого исследования использовались при подготовке и проверке новых дополнений и изменений стандарта IEEE693.

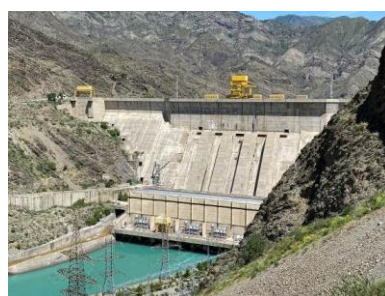
This paper is focused on energy and resource saving in construction and in industrial sector. Due to the continuous growth in world population, there is a high demand both in maintaining existing infrastructure and building new infrastructure to support the growth in population. As a result, the infrastructure's stakeholders face new challenges which could be partially solved by ensuring that (1) the existing infrastructure is well monitored to address its aging issues and prolong its life and (2) the

new construction is designed and constructed in a way that ensures its resiliency. The latter is especially important in the context of ongoing climate change, which requires the infrastructure to be more adaptable to more complex and extrema environmental conditions. The researchers at the University of California, Berkeley (UCB) have been working on the problems related to the preservation of the existing infrastructure and techniques of building new more resilient infrastructure for several decades. All this work has recently resulted in establishing Center for Smart Infrastructure at UCB. This paper shows a few examples of the work conducted at UCB. The examples include the recent joint project with experts from the US, Kyrgyzstan, and Uzbekistan on structural preservation of an existing hydro-power plant (HPP). The HPP's dam was instrumented with a variety of sensors. A numerical model of the dam was generated that was calibrated to match to the data collected by the sensors. Numerical simulations of the HPP's dam under various loading conditions, enabled the stakeholders with a tool that can predict its future performance and address possible problems before they happen. The latter results in a significant savings of resources because a dam's repair or complete re-construction are very expensive options. This idea of turning the existing and to be constructed infrastructure into "smart" infrastructure is the main vision behind the Center for Smart Infrastructure. As mentioned earlier, building a resilient infrastructure also results in energy and resource saving. As a representative example of the design and construction of the resilient infrastructure, an approach based on protecting high-voltage equipment by seismic isolation and damping devices is discussed. While the seismic isolation and dampers are commonly used in building construction, these devices are making their way into design of elements of the power grid. The paper discusses the results of an extensive multi-year experimental and numerical program on protection approaches and protective devices at UCB. Results of this study were used in preparations and verifications of new additions and changes to the IEEE693 standard.

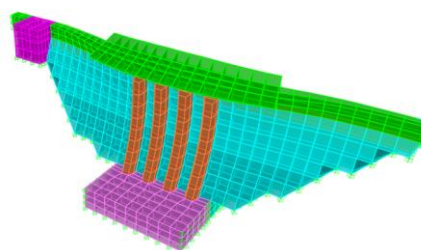
Introduction. Nowadays infrastructure stakeholders face new challenges which could be partially solved by ensuring that (1) the existing infrastructure is well monitored to address its aging issues and prolong its life and (2) the new construction is designed and constructed in a way that ensures its resiliency. This paper shows a few examples of the work conducted at the University of California, Berkeley (USA).

Existing infrastructure: monitoring and modelling based on an example of a water dam. This section describes the major results of a recent joint project on the structural preservation of an existing hydro-power plant (HPP) involving experts from the US, Kyrgyzstan, and Uzbekistan. This HPP was selected for the study because it had recently been instrumented with a variety of sensors [1,2] to monitor its actual performance under different loading conditions imposed on the dam. As a result of this project, a numerical model of the dam was generated and was calibrated to match to the data collected by the sensors [3]. The model was generated based on images of the dam from a public domain and dimensions of the dam published earlier [1,2]. The numeral model was calibrated to make sure that the resonant frequencies of the numerical model were close to those measured and reported earlier [1,2]. The model was subjected to various loading conditions consisting of thermal, gravitational, and hy-

drostatic pressure to estimate its deformations and possible failure modes under the combination of these loads. Seismic loading will be included in the next phase of the project. The main idea behind this project is to provide a new assessment tool to stakeholders that will help in the decision-making process during or right after extreme situations and/or predicting the structures performance for development of reinforcement/maintenance strategies. The latter results in significant savings of resources because repairing or completely re-constructing a dam are very expensive options. In addition, the ongoing maintenance can focus on the most vulnerable areas of the dam and as such, it will become more targeted towards solving ongoing and future problems. This idea of turning existing and future infrastructure into “smart” infrastructure is the main vision behind the Center for Smart Infrastructure [4] at the University of California, Berkeley (USA). This idea of smart infrastructure is achieved by combing real-time monitoring and numerical analysis based on the results of the data collected by sensors. Since new data is continuously being collected, the numerical model is also frequency updated to ensure close correlation between actual response of the dam to that of the numerical model. Fig. 1 shows the photo of the dam and its respective finite element model (developed in [3]) showing the first mode of vibration.



a) photo of Kupsai dam



b) first mode of dams' vibration

Fig.1. Photo of the dam and its respective finite element model

The study was conducted for a HPP in Kyrgyzstan that represents a typical example of HPPs of the Central Asia and as such, this approach can be easily adapted in Uzbekistan. In 2016 [5] 21% of annual energy generation in Uzbekistan produced by HPPs. Contributions from other renewable energy sources (solar and wind, for example) was still very low and remained under 0.01% of the annual energy generation in 2016. Therefore, a preservation of existing HPPs is very important in ensuring that the annual energy generation from renewable sources will continue to increase over time.

1. Saving resources in construction: increase resiliency of modern construction by utilizing seismic isolation and seismic damping devices.

As mentioned earlier, building resilient infrastructure also results in energy and resource savings. As a representative example of the design and construction of resilient infrastructure, an approach based on protecting high-voltage equipment by seismic isolation and damping devices is discussed. This section of the paper discusses the results of an extensive multi-year experimental and numerical program on protection approaches and protective devices at the University of California, Berkeley (USA).

While the seismic isolation and dampers are commonly used in building construction, these devices are making their way into the design of elements of the power

grid. This is related to the fact that many electric grid's components are represented by equipment that is much lighter and more compact than a regular building.

Therefore, more resilient construction will save resources in the long run and will ensure a stable power supply even after major disasters. Since seismic hazard is very high in Uzbekistan (similar to California), an efficient way of building resilient infrastructure is to use of the seismic isolation and seismic damping devices.

As mentioned earlier, the electrical equipment is smaller and lighter than a regular building and as such, the technologies of seismic protection developed for buildings need to be adjusted to be used for the components of a power grid. In addition, it opens new horizons for developing new isolation and damping devices that leads to new opportunities in research and development worldwide, including in Uzbekistan.

An innovative and cost-effective way of seismic isolation of tall equipment was discussed in detail earlier [6,7]. It is based on the utilization of the so-called wire ropes. Based on the experiments on a shaking table, it was concluded that this simple approach can reduce the demand on the most vulnerable part of the equipment by a factor of three. To obtain this result, a high-voltage piece of equipment was tested with and without seismic protection as presented in Fig. 2. In addition, a numerical model of the high-voltage equipment was developed to confirm the results. The numerical modelling was based on an extensive program of component testing of the wire ropes. The finite element model of the equipment is shown in the right image of fig. 2.

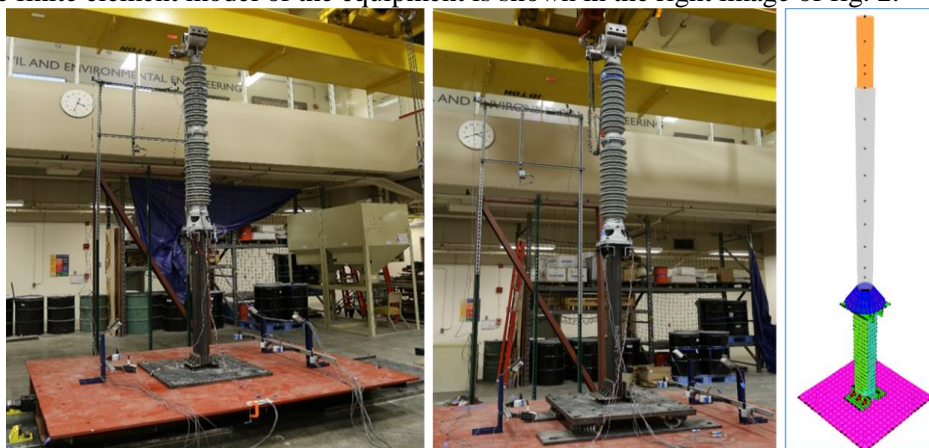


Fig. 2. High-voltage equipment: left image - without seismic protection, middle image – with seismic protection and right image – finite element model

Another example of adjusting technologies of seismic protection is discussed in [8,9]. It is based on verifying that the regular friction bearing seismic isolators used for bridges and buildings can also be used for electrical equipment with much smaller self-weight. This experimental study was conducted on full-scale friction pendulum bearings shown in the left image in fig. 3. These bearings are seismic isolation devices based on sliding of a slider pack between two concaved surfaces (of top and bottom dishes) as presented in the right image of fig. 3.

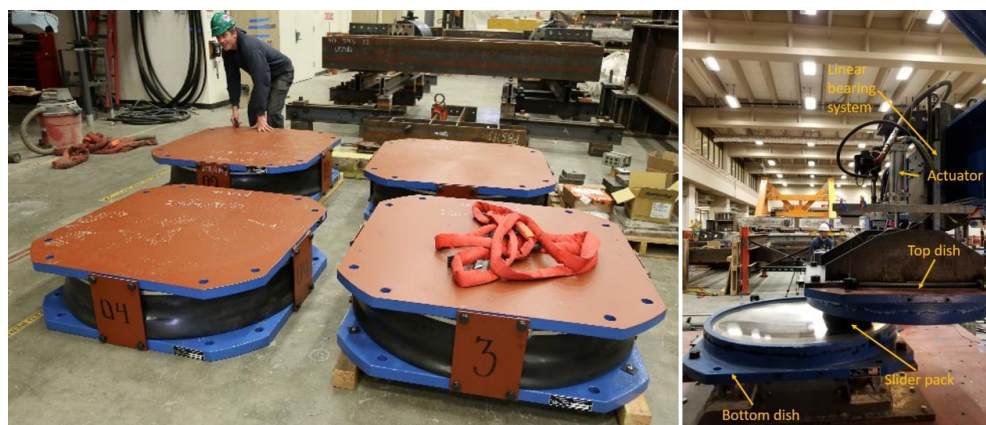


Fig.3. Photo of friction pendulum bearings (left) and component testing in progress (right)

The experimental study was combined with numerical simulations. Based on this study it was demonstrated that this type of seismic isolation can be used for high-voltage equipment with a self-weight much lower than a typical building or bridge deck. The shaking table tests showed that the seismic demand can be reduced by a factor of two.

A detailed evaluation study on the friction based damping devices is discussed in [10]. It is based on using friction dampers that can introduce large damping into the system, resulting in significant reduction of the demand. The friction damping devices are shown in fig. 4. The left image shows that the dampers are incorporated into the existing anchoring system at the base of high-voltage equipment and the right image shows the details of the numerical model. Based on the results of this study these damping devices were incorporated into high-voltage equipment at Mitsubishi (Japan) [11].

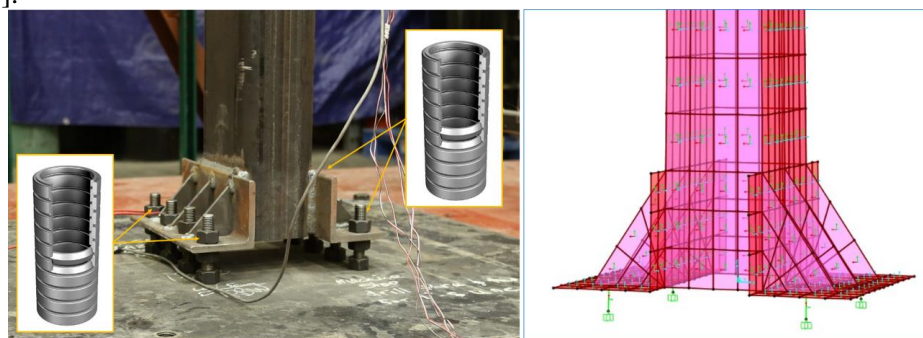


Fig.4. Friction damping devices at the base of high-voltage equipment: installation location (left) and details of numerical model (right)

All these seismic protection technologies are summarized in an extensive report that was recently prepared for the Electric Power Research Institute (EPRI) [12]. Results of this study were used in the preparation and verification of new additions and changes to the IEEE693 standard [13]. In addition to the studies on the seismic protection devices, a new set of strong motion time histories for seismic qualification of seismically protected equipment were developed [14-15].

Conclusions. This paper shows a few examples of multi-year research programs conducted at the University of California, Berkeley (USA). Based on the results discussed above the following can be concluded. First, smart and resilient infrastructure can be used as a major strategy for energy and resource saving in structural preservation and construction. Second, this can be achieved by ensuring that (1) the existing infrastructure is well monitored to address its aging issues and prolong its life and (2) the new construction is designed and constructed in a way that ensures its resiliency.

Acknowledgements. This paper summarizes the results of a multi-year research program that involved many participants. The author would like to acknowledge all co-authors that worked together on the projects described herein. Their names are listed in the respective references. In addition, special thanks are due to Behruz Azimov, an intern at Miyamoto International Silk Road, for his work on the issues directly related to the subject of the paper.

References

1. Marco Pilz, Marius Paul Isken, Kevin Fleming, Sagynbek Orunbaev and Bolot Moldobekov. 2021. Long- and Short-Term Monitoring of a Dam in Response to Seasonal Changes and Ground Motion Loading: The Test Case of the Kurpsai Dam, Western Kyrgyz Republic. *Pure Appl. Geophys.* 178 (2021), 4001–4020. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02861-5>.
2. Marco Pilz, Kevin Fleming, Tobias Boxberger, Sagynbek Orunbaev. 2019. Structural health monitoring of the Kurpsai dam in the Kyrgyz Republic. *SMAR 2019 - Fifth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures*.
3. Shakhzod Takhirov, Sagynbek Orunbaev, Elyor Toshmatov, Ravshan Shamansurov, and Zholdoshbek Baiyzbekov. 2022. Finite Element Model of Kurpsai Dam in Kyrgyzstan Based on Actual Response Measured by Extensive Network of Various Sensors. Accepted for the 8th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS Congress 2022, 5–9 June 2022, Oslo, Norway.
4. <https://engineering.berkeley.edu/news/2021/11/uc-berkeley-and-ebmud-announce-new-center-for-smart-infrastructure/>.
5. <https://www.worldometers.info/electricity/uzbekistan-electricity/>.
6. Shakhzod Takhirov, Eric Fujisaki, Leon Kempner, Michael Riley and Brian Low. 2017. Full-scale Component Testing of Seismic Isolation Devices and Verification of Their Performance in Full-scale System-Level Tests on a Shaking Table. *7AESE, 7th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*, 6-8 September 2017, Pavia (Italy).
7. Shakhzod TAKHIROV, Eric FUJISAKI, Brian LOW, Leon Kempner, Michael Riley (2018). Seismic Performance of Nonlinear System Subjected to Multiple Time Histories Matched to the Same Spectrum: Evaluation of Mean and Maximum Response Approaches. *The 16th European Conference on Earthquake Engineering (16ECEE)*, Thessaloniki, Greece, June 18-21, 2018.
8. Shakhzod Takhirov, Leon Kempner, Michael Riley, Eric Fujisaki, and Brian Low (2019). New IEEE693 seismic qualification procedure of seismically protected

high-voltage substation equipment by testing and analysis in a detailed case study. Transactions, SMiRT-25 Charlotte, NC, USA, August 4-9, 2019.

9. Shakhzod Takhirov, Leon Kempner, Michael Riley, Eric Fujisaki, Brian Low. 2020. Component Testing of Full-Scale Friction Pendulum Bearing per IEEE693 for Seismic Isolation of High-Voltage Equipment. In the Proceedings of 8th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering. Christchurch, New Zealand, 3-5 February 2020.

10. Shakhzod Takhirov, Leon Kempner, Michael Riley, Eric Fujisaki and Brian Low. 2019. Seismic protection of high-voltage equipment by friction dampers: numerical modelling correlated with full-scale component tests. compdyn-2019, 7th eccomas Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering. M. Papadrakakis, M. Fragiadakis (eds.), Crete, Greece, 24–26 June 2019.

11. Shakhzod Takhirov, Hiroko Kuse, Keiko Yoshida, Seiichi Murase and Eric Fujisaki. 2019. Numerical optimization of seismic performance of tall and slender system protected by seismic protection device. compdyn-2019, 7th eccomas Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering. M. Papadrakakis, M. Fragiadakis (eds.), Crete, Greece, 24–26 June 2019.

12. The Electric Power Research Institute (EPRI). 2022. Experimental and Numerical Evaluation of Seismic Protection Devices for High-Voltage Substation Equipment (in preparation).

13. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2018. IEEE693-2018 - IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations.

14. Shakhzod Takhirov, Eric Fujisaki, Leon Kempner, Michael Riley and Brian Low (2017). ‘Development of Time Histories for IEEE693 Testing and Analysis (Including Seismically Isolated Equipment)’. PEER Report No. 2017/10, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Headquarters at the University of California, Berkeley, December 2017.

15. S. Takhirov, L. Kempner, M. Riley, E. Fujisaki, B. Low (2020). New annex in IEEE693-2018 on seismic protection: development of time histories and experimental evaluation of protection devices per annex. The 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan, September 13-18 2020.

*Presented by University of California
at Berkeley, USA*

УДК 620.92

**СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ И ОЦЕНКА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ PV - СОЛНЕЧНОЙ СТАНЦИИ
В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ «SHADOW ANALYZER»****Т.К. Койшиев, З.Б. Бекжан**

Ishda 10 kVt quvvatga ega PV - quyosh stansiyasi uchun kompyuter arxitekturasini yaratish va Shadow Analyzer dasturi yordamida energiya ko'rsatkichlarini baholash masalalari ko'rib chiqiladi. Quyosh stansiyasi tomonidan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi Al - Farobiy nomidagi qozoq Milliy universitetining fizika-texnika fakulteti yoritish tizimining uzluksiz quvvat manbai (energiya ta'minoti) sifatida ishlatiladi.

Shadow Analyzer dasturi yordamida quyidagi amallar bajarildi:

- *10 kVt quvvatga ega PV quyosh stansiyasining optimal kompyuter arxitekturasini yaratildi va loyihalashtirilgan bino (al-Farobiy nomidagi QMU fizika-texnika fakulteti) tomida quyosh panellarining joylashishini tasvirlab berildi;*
- *PV-quyosh stansiyasining sirtidan samarali foydalanishga yordam beradigan miqdoriy xususiyatlarni baholandi;*
- *Stansiyaning energiya ko'rsatkichi baholandi va kunlik, mavsumiy va yillik ish sikli bo'yicha o'rtacha qiymatni ifodalovchi qiymatlarning optik-energiya xususiyatlari aniqlandi.*

В работе рассматриваются вопросы создания компьютерной архитектуры проектируемое PV- солнечной станции мощностью 10 кВт и оценки энергетических показателей с помощью программы Shadow Analyzer. Вырабатываемая электроэнергия от солнечной станции будет использоваться как источник бесперебойного питания (энергообеспечения) системы освещения физико - технического факультета Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби.

С помощью программного обеспечения Shadow Analyzer мы провели следующие действия:

- *Создали оптимальную компьютерную архитектуру PV- солнечной станции мощностью 10 кВт и иллюстрировали расположение солнечных панелей на крыше проектируемого здания КазНУ имени Аль-Фараби;*
- *Оценили количественные характеристики, способствующие эффективному использованию поверхности PV- солнечной станции;*
- *Оценили энергетический показатель станции и определили оптико-энергетические характеристики величин, выражающих среднее значение по дневному, сезонному и годовому циклу работы.*

The paper discusses the issues of creating a computer architecture of a PV-solar station with a capacity of 10 kW and the assessment of energy indicators using the Shadow Analyzer program. The generated electricity from the solar station will be

used as an uninterruptible power supply (power supply) of the lighting system of the Faculty of Physics and Technology of Al-Farabi Kazakh National University.

Using the Shadow Analyzer software, we performed the following actions:

- Created an optimal computer architecture of a PV solar station with a capacity of 10 kW and illustrated the location of solar panels on the roof of the projected building of the Al-Farabi KazNU;*
- Evaluated the quantitative characteristics contributing to the effective use of the surface of the PV-solar station;*
- We evaluated the power indicator of the station and determined the optical and energy characteristics of the values expressing the average value for the daily, seasonal and annual cycle of operation.*

Введение. Основной задачей современных научно-технических разработок и практического использования солнечной энергии является снижение стоимости, обусловленное научными достижениями в совершенствовании методов их использования.

Поэтому проектирование сложных архитектур для солнечных станции и солнечных печей в настоящее время очень актуально, разрабатываются различные пакеты прикладных программ, их основной задачей является создание адекватных физических, математических и прикладных моделей программ.

Функциональные возможности при проектировании PV - солнечной станции, созданный программный модуль Shadow Analyzer учитывает архитектуру существующего здания для монтажа солнечных панелей, а для оценки энергетических показателей станции, где учитываются климатические данные выбранного региона, так как для нормального функционирования станции и солнечных печей необходимо в равной степени строго учитывать множество разнообразных ограничений, взаимоувязанных эффектов и противоречивых требований, возникающих в процессе его работы [1].

В связи с этим актуальность данной тематики обусловлена высокими темпами развития солнечной энергетики и расширением географии использования солнечных станции и солнечных печей в различных регионах Казахстана.

Поэтому цель и задачи программного обеспечения Shadow Analyzer следующие:

- Создание оптимальной компьютерной архитектуры PV- солнечной станции мощностью 10 кВт и иллюстрация расположения солнечных панелей на крыше проектируемого здания КазНУ имени Аль-Фараби;
- Оценка количественных характеристик способствующих эффективному использованию поверхности и геометрических размеров PV- солнечной станции;
- Оценка энергетических показателей станции и определение оптико-энергетических характеристик величины, выражающих среднее значение по дневному, сезонному и годовому циклу работы.

Технология получения компьютерной архитектуры PV - солнечной станции мощностью 10 кВт с помощью программой среды Shadow Analyzer.

Создаем компьютерную архитектуру PV - солнечной станции мощностью 10 кВт, солнечные панели будут расположены на крыше здания КазНУ имени Аль-Фараби.

Объект будет расположен на: широте 43.15 с.ш. и долготе 76.55 в.д.

В отличие от большинства других инструментов программный инструмент Shadow Analyzer это передовой параметрический CAD для специалистов в области солнечной энергетики и архитектуры, данная программа позволяет полностью выполнить указанные требования [2].

Shadow Analyzer-показывает дополнительные окна для анализа теневых эффектов любых новых проектов и расчета соответствующего расхода энергии.

Особенность CAD Shadow Analyzer позволяет:

- создавать представления, заполнять их объектами;
- изменять размеры проектируемого объекта;
- изменять расположение и ориентацию;
- изменять цвета и отражательные свойства объектов.

Shadow Analyzer является автономным инструментом. Например при проектировании можно использовать текстуры на поверхности объектов и можно сохранить сценарии (sa1) файлов, так как он не связан с другими приложениями или другими пакетами [3].

Разработанный программный модуль на базе программы Shadow Analyzer позволяет создавать компьютерную архитектуру PV - солнечной станции мощностью 10 кВт, который обеспечивает систему освещения физико-технического факультета КазНУ имени Аль-Фараби и оценит энергетический показатель станции [5].

Запуская систему Shadow Analyzer вводим все панели инструментов и в окне 3D пустой сцены вводим необходимые данные «Scene1», а для всех управляющих элементов существует простая логика, которая управляет сценой.

В проекте мы планируем использовать солнечные модули, выпускаемые ТОО «ASTANA SOLAR» мощностью 275 Вт [4].

В результате на сцене с помощью программы Shadow Analyzer получаем структурную компьютерную архитектуру состоящую из 40 фотомодулей. Схема расположения модулей показана на рис. 1.

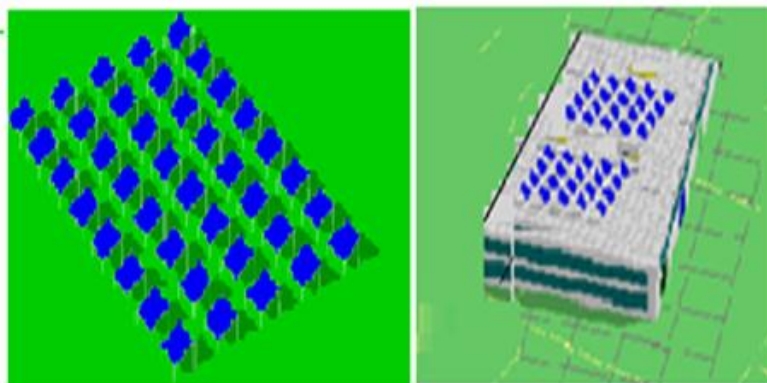


Рис.1. Структурная компьютерная архитектура солнечной станции, состоящей из 40 фотомодулей

С помощью инструмента «Paste Object» структурную архитектуру солнечной станции, состоящей из 40 фотомодулей передаем на общую архитектуру

здания, чтобы передать архитектуру объекта из памяти компьютера на сцену «панели». Все объекты отображаются в поле списка SCENE, затем после завершения сцены - сохраняются [6].

Объединив все в один файл, мы получили проект солнечной электростанции 22 кВт.

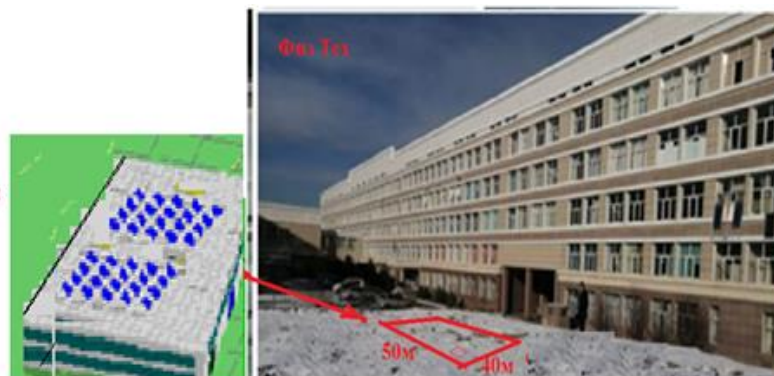


Рис.2. Место объекта КазНУ им. Аль-Фараби и структурная компьютерная архитектура PV-солнечной станций в программной среде Shadow Analyzer

Разработка алгоритма расчета генерируемой мощности PV -солнечной станции мощностью 10 кВт

Количество необходимой энергии переменного тока для проектируемого объекта КазНУ имени Аль-Фараби $W_{mp} = 200 \text{ Вт ч/нед.}$ для системы освещения (с учетом коэффициента $k = 1,2$ учитывающий потери в инверторе):

$$W_{nep} = W_{mp} \cdot k. \quad (1)$$

Определяем мощность инвертора (при этом принимаем значение входного напряжения инвертора $U_{инв} = 24 \text{ В}$, число часов за неделю, то есть на $t = 7 \cdot 24 \text{ ч}$.

$$P_{инв} = \frac{W_{nep}}{t}. \quad (2)$$

По результатам расчета выбираем инвертор Simin SIM-4000P. Номинальное напряжение инвертора $U_{инв} = 24 \text{ В}$, номинальная мощность: $P_{н.инв.} = 4000 \text{ Вт}$.

Тогда число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока будет:

$$q_{нед}^{nep} = \frac{W_{nep}}{U_{инв}} \text{ Ач.} \quad (3)$$

В рассматриваемом объекте нет нагрузки постоянного тока $W_{пост} = 0$, тогда суточное значение потребляемых (Ач.) будет:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7} = \frac{q_{нед}^{nep}}{7} \text{ Ач.} \quad (4)$$

Определяем значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества, учитывающее количество дней без Солнца $N_{bc} = 1$:

$$q_N = q_{сут} \cdot N_{bc} \text{ Ач.} \quad (5)$$

Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей (с учетом глубины разряда 50%, соответственно, коэффициент использования $\gamma = 0,5$ и коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, то при $15,6^\circ\text{C}$ принимаем $\alpha = 1,11$):

$$q_\gamma = \frac{q_N}{\gamma}, \quad q_{общ} = q_\gamma \cdot \alpha \text{ Ач.} \quad (6)$$

По результатам расчета выбираем аккумуляторную батарею DJM 12200. Номинальное напряжение $U_{ном} = 12 \text{ В}$, емкость $q_{ном} = 200 \text{ Ач}$.

Общее количество требуемых аккумуляторных батарей будет:

$$N^{AKB} = N_{пар}^{AKB} \cdot N_{посл}^{AKB}, \quad (7)$$

здесь количество батарей, соединенных параллельно и последовательно:

$$N_{пар}^{AKB} = \frac{q_{общ}}{q_{ном}} \text{ шт.}; \quad N_{посл}^{AKB} = \frac{U_{инв}}{U_{ном}} \text{ шт.} \quad (8)$$

Расчет количества солнечных батарей

Мы выбираем солнечные модули, выпускаемые ТОО «ASTANA SOLAR», со следующей характеристикой: $P_{ном}^{CB} = 250 \text{ Вт}$, $U_{ном}^{CB} = 24 \text{ В}$, $Impp = 4.93$.

Определяем значение тока, который должны генерировать солнечные батареи (с учетом коэффициента потери на заряд-разряд аккумуляторной батареи $\zeta = 1.2$):

$$q_{з-р} = q_{сут} \cdot \zeta \text{ Ач.}, \quad (9)$$

Получаем значение тока, который должен генерировать солнечные батареи:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i}, \quad (10)$$

где i – среднее число пиковых солнце-часов для заданной местности $i=4.93$

Теперь определяем общее количество требуемых солнечных батарей:

$$N^{CB} = \frac{I^{CB} \cdot U_{инв}}{P_{ном}^{CB}}. \quad (11)$$

По результатам получили $N_{cb} = 38.5 \text{ шт}$. Используем солнечные модули мощностью 250 Вт, 40 штук.

Определение количества энергии, вырабатываемой солнечными фотомодулями

Среднее значение количества энергии, вырабатываемой солнечными панелями за год определяется как:

$$E_{CB} = E_{сум.сол.рад} \cdot K_0 \cdot P_{CB} \cdot K_{ном} / I_{исп}, \quad (12)$$

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

здесь, $E_{\text{сум.сол.рад.}}$ - суммарная солнечная энергия, попадающая на поверхность Земли в горизонтальной плоскости.

K_0 - поправочный коэффициент пересчета суммарного потока солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность фотопанели. Для расчета принимаем $K_0 = 1$;

$P_{\text{СБ}}$ - суммарная мощность солнечной фотопанели. (установленная мощность 10 кВт);

$K_{\text{пот}}$ - коэффициент, учитывающий потери солнечной батареи при преобразовании и передаче электроэнергии, принимаем – 16%, тогда $K_{\text{пот}} = 0.84$.

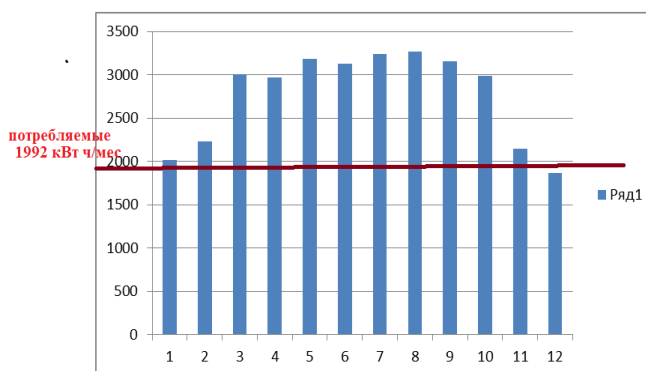


Рис.3. Среднемесячная выработка электроэнергии от автономной солнечной станции, кВт ч/мес

Следующая страница Shadow Analyzer показывает прямую, диффузную и общую освещенность на поверхности солнечных панелей, если нет активных коллекторов в соответствующей сцене, то освещенность рассчитывается на горизонтальной поверхности [7].

Здесь первая строка показывает тип системы и объекты, которые представляют собой систему панели.

Вторая линия показывает географическую широту и дату.

Кривые:

- Dir_N – прямая солнечная радиация на нормальной поверхности, кВт/м²;
- cos(i) – косинус угла падения (прямой радиации на поверхности коллектора);
- Dir_S – прямая солнечная радиация на поверхности коллектора, кВт/м²;
- Dif_H – полная диффузная солнечная радиация на горизонтальной поверхности (в том числе отражения между землей и небом), кВт/м²;
- Tot_S – общая солнечная радиация на поверхности коллектора, кВт/м².

Линия под заголовком «Daily sum, kWh/m², and ...» (Ежедневная сумма, кВтч/м², и ...) показывает ежедневную сумму компонентов солнечной радиации в кВтч/м² и параметр cos(i), усредненный по времени в течение дня.

Значения приведены в следующем порядке: Dir_N, <cos(i)>, Dir_S, Dif_H, Tot_S. Символ <...> означает усреднение по дню.

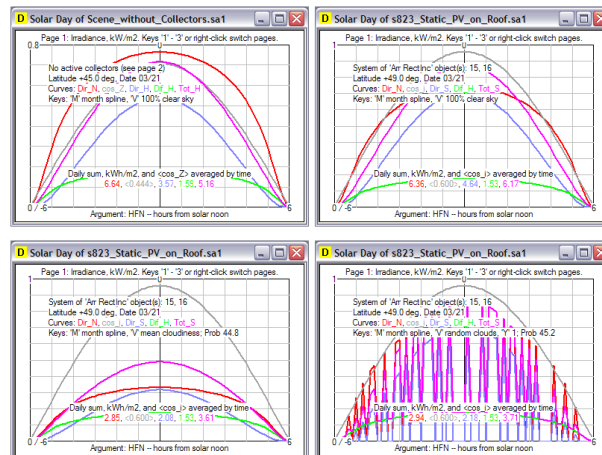


Рис.4. Результаты расчета: энергетическая освещенность солнечных панелей в программной среде Shadow Analyzer

Для сцены без коллекторов соответствующие значения рассчитаны для случая горизонтальной поверхности, так что значения $\cos(i)$, Dir_S , Tot_S заменены значениями $\cos(Z)$, Dir_H и Tot_H .

На четырех снимках экрана выше, (см. рис. 4) вы видите один случай сцены без солнечных коллекторов и три случая сцены «s823 ...» с солнечными коллекторами для трех вариантов «V» – переключателя [8].

Заключение. На базе в программной системе Shadow Analyzer разработана компьютерная архитектура PVF-солнечной электростанции мощностью 10 кВт для [9] энергоснабжения собственных нужд систему освещения корпуса физико-технического факультета КазНУ имени Аль-Фараби.

Основным важным преимуществом программной системы Shadow Analyzer является наличие в ней системы мониторинга, которая позволяет получать информацию о рабочих параметрах солнечной станции [10].

Программный модуль Shadow Analyzer позволяет рассчитать уровень солнечной радиации в течение заданных этапов времени собирать, систематизировать и обрабатывать полученную информацию. В ходе выполнения проекта был произведен оценочный расчет выработки энергии от проектируемой станции [11].

Благодарности. Авторы выражают благодарность кафедре физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики физико-технического факультета КазНУ имени Аль-Фараби за предоставление возможности провести эксперимент.

Литература

1 Н. Yilmaz, A. Mwesigwe, «Modeling simulation and performance analysis of parabolic trough solar collectors: A comprehensive review», Applied energy, vol. 225, pp. 135-174, 2018.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

2 I. Sapaev, E. Saitov, N. Zohidov and B. Kamanov, «Matlab-model of a solar photovoltaic station integrated with a local electrical network», Conmechhydro-2020 IOPConf. Series: Materials Science and Engineering 883(2020) 012116.

3 А.И. Отто «Автономные энергетические установки с экстремальным регулированием мощности фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии», диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, Томск-2018.

4 В.А. Майоров, «Исследование тепловых характеристик теплофотоэлектрического солнечного модуля с концентратором и приемником треугольного профиля», Гелиотехника, Том 54, №6, с. 45-55, 2018.

5 Д.С. Стребков, А.Е. Иродионов. Н.С. Филиппенкова. «Солнечные концентраторные модули с жалюзийными гелиостатами», -М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. с. 144, 2019.

6 N.R. Avezova, A.U. Vokhidov, A.A. Farmonov and N.N. Dalmuradova, «Renewable energy: challenges and solutions», Applied Solar Energy, vol. 55, no. 2, pp. 149-152, 2019.

7 «Global installierte Photovoltaik-Kraftwerksleistung nähert sich der 100-Gigawatt-Marke", Solar Server 2, March 2017.

8 А.А. Поливанов, В.С. Галушак, М.Е. Титова Исследование методов изменения направления световых лучей в солнечных электроустановках / Международный студенческий научный вестник: электронный журнал. - 2018. - № 3, ч. 2. - С. 217-219.

9 А.Т. Жаркеев, А.М. Гинятова, Н.Б. Ербаева. Классификация возобновляемых источников энергии, ЗКАТУ им. Жангир хана, Наука и образование, - Выпуск 1-2017, 217с.

10 Ф.Н. Булатбаев, В.Л. Исаев, К.Б. Кызыров, В.А. Калытка. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. -Караганда: КарГТУ, 2017, 412 с.

11 К.И. Судхаршан, П.В. Кумар, Х.С. Баршилия. Performance evaluation of a thermally concentrated solar thermo-electric generator without optical concentration// Solar Energy Materials & Solar Cells ISSN:0927-0248, Дек 2016, 93-100 б.

12 В.О. Чередов, А.М. Каримов, А.Ж. Акылбеклова Оценка потенциала солнечного излучения в пределах территории Республики Казахстан для выработки электроэнергии, 2017, 60с.

13 Т.К. Койшиев, А.Б. Бекбаев, Ш.А. Садырбаев, Р.У. Кошелеков. Design and construction of the DC/DC power converter for stand-alone PV system with battery storage Colloids and nanotechnologies in industry // КазНТУ им. К.И. Сатпаева. 2012, № 9, 153 с.

14 Т.К. Койшиев, Ж.О. Шерментаева, Т.М. Омарова. Проектирование и методика осуществления логической модели фонда сведений солнечных ресурсов Южного Казахстана, Вестник КазАТК: Научный журнал, 2016. №4(99), с.115-121, ISSN 169-1817.

*Представлено Казахским Национальным
Университетом имени Аль-Фараби*

УДК 681.518.25

**APPLICATION OF THE LORAWAN VERIFICATION ALGORITHM
IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS****M.A. Sarybay, F.A.Satybaldiyeva, A.S. Saribayev**

Qayta tiklanadigan energiyadan foydalanish butun dunyoda katta talabga ega. Qayta tiklanadigan energiyadan foydalanishning ko'payishining asosiy sabablari havoning ifloslanishini kamaytirish, iqtisodiy rivojlanishni rag'batlantirish va atrof-muhitni muhofaza qilishdir. Sensor va mikrokontroller kabi zamonaviy elektron qurilmalar ma'lumotlarni yig'ish va qayta tiklanadigan energiya qurilmalarini masofadan boshqarishga yordam berish uchun ishlatiladi. Qayta tiklanadigan energiya qurilmalarini masofadan boshqarish uchun boshqariladigan tizim, bu lorawan-ning arzon narxlardagi tarmog'ini o'z ichiga oladi, bu aloqa darajasidagi narsalar interneti texnologiyasiga ega, bu uzoq masofaga va kam quvvat sarfiga ega. Ushbu maqola masofadan boshqarish tizimining barqarorligini oshirish uchun LoRaWAN-da tekshirish algoritmidan foydalanishni taklif qiladi. Long Range Wide Area Network (LORAWAN) xususiy, ochiq standart tarmoqlarni qurish imkoniyati tufayli LPWAN-ning eng ko'p o'rganilgan va joriy qilingan texnologiyalaridan biridir. Odatda LoRaWAN tarmoqlari-bu ma'lumotlarni to'g'ridan-to'g'ri shlyuzlarga uzatadigan so'nggi qurilmalardan tashkil topgan "yulduz" topologiyasiga ega bo'lgan bir martalik tarmoqlar. Yaqinda bir nechta tadqiqotlar lorawan ko'p tarmoqli tarmoqlarini taklif qildi va shu bilan simsiz tarmoq tarmoqlarini shakllantirdi. Buning uchun bir nechta so'nggi qurilmalar o'rtasida nuqta-nuqta aloqasi talab qilinadi, bu tarmoq topologiyasi tufayli LoRaWAN-da mumkin emas. Vizantiya nosozliklarga chidamli protokollari favqulodda, noto'g'ri yoki faol zararli jarayonlar mavjud bo'lganda davlat replikatsiyasini amalga oshirishga imkon beradi. Ushbu tadqiqot hujjati RSSI pozitsiyasi va Vizantiya nosozliklariga chidamliligi (bft) yordamida LoRaWAN xavfsizligini tekshirish va loyihalashni bartaraf etish yondashuvini taqdim etadi. Bu RSSI-ga asoslangan lokalizatsiya yordamida pastki so'nggi qurilmaning joylashishini tasdiqlash imkonini beradi.

Основные причины увеличения установок на возобновляемых источниках энергии включают снижение загрязнения воздуха, обеспечение экономического развития и защиту окружающей среды. Современные электронные устройства, такие как датчики и микроконтроллеры, используются для сбора данных и помогают в удаленном режиме контролировать установки ВИЭ. Приводимая система для удаленного контроля установок ВИЭ, включает в себя недорогую сеть LoRaWAN технологии IOT на уровне связи, имеющую преимущество покрытия на большие расстояния и низкого энергопотребления. В этой работе предлагается применение в LoRaWAN алгоритма проверки для повышения устойчивости работы системы удаленного контроля. Сети Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) являются одной из наиболее изученных и внедряемых технологий LPWAN из-за возможности построения частных сетей с открытым стандартом. Типичные сети LoRaWAN представляют собой односе-

ментные сети в звездообразной топологии, состоящие из конечных устройств, которые передают данные непосредственно на шлюзы. Недавно в нескольких исследованиях были предложены сети LoRaWAN с множеством переключений, которые образуют беспроводные ячеистые сети. Для этого требуется двухточечная связь между несколькими конечными устройствами, что невозможно в LoRaWAN из-за топологии ячеистой сети. Византийские отказоустойчивые протоколы обеспечивают репликацию состояния при сбоях, или активно вредоносных процессах. В этой исследовательской статье представлен подход к преодолению верификации и проектирования безопасности LoRaWAN с RSSI-позицией и византийской отказоустойчивостью (BFT). Это позволяет подтвердить положение конечного устройства LoRa с помощью локализации на основе RSSI.

The main reasons for increasing renewable energy installation include reducing air pollution, promoting economic development, and protecting the environment. Modern electronic devices such as sensors and microcontrollers are used to collect data and help remotely control renewable energy installations. A driven system for the remote control of renewable energy installations, which includes a low-cost IOT technology LoRaWAN network at the communication layer, which has the advantage of long-range coverage and low power consumption. This paper proposes the use of a verification algorithm in LoRaWAN to improve the stability of the remote-control system. Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) networks are one of the most studied and implemented LPWAN technologies, due to the facility to build private networks with an open standard. Typical LoRaWAN networks are single-hop in a star topology, composed of end-devices that transmit data directly to gateways. Recently, several studies proposed multihop LoRaWAN networks, thus forming wireless mesh networks. This requires point-to-point communication between several end-devices which is not possible in LoRaWAN due to mesh topology. Byzantine fault tolerant protocols enable state replication in the presence of crashed, malfunctioning, or actively malicious processes. This research paper provides an approach to overcome verification and design of LoRaWAN security with RSSI-position and Byzantine Fault Tolerance (BFT). This makes it possible to confirm the position of a LoRa end-device by RSSI-based localization.

Introduction. The results of research and development of the control system of solar devices, directed the authors of the article to the application of LoRaWAN technologies in renewable energy systems [1 - 4].

The LoRaWAN technology platform can be segmented into two components:

- LoRa: Proprietary LoRaWAN radio-modulated technology that uses wireless communication to connect between end devices and gateways;
- LoRaWAN: An access control protocol that uses a MAC address for identification (MAC - media access control) for transmitting and managing messages between the LoRaWAN Network Server and the end device.

Advantages:

- Long range of radio signal transmission, reaches 10-15 km;
- Low power consumption;
- High penetrating power.

Disadvantages:

- Relatively low bandwidth up to several tens of kbit/s;
- Delay in data transmission from the sensor to the end application related to the time of transmission of the radio signal.

In the Republic of Kazakhstan, for the operation of radio electronic facilities and high-frequency devices, as well as for the calculation of the electromagnetic compatibility of civil radio electronic facilities using IoT technologies (LoRaWan, LPWan and others), the frequency range indicated in table 1 has been allocated:

Table 1
Frequency band of radio electronic means of IoT technologies (LoRaWan, LPWan and others)

Types of radio-electronic means and high-frequency means	Frequency range (up to)	Permissible radiation power of the transmitter, Field strength	Width of the channel used	Note
1	2	3	4	5
radio electronic means of IoT technologies (LoRaWan, LPWan and others)	863-868 MHz	≤25 mW	≤500 kHz	use within airports (aerodromes) is not allowed

In foreign countries, the development of a system based on LoRaWAN for remote control and monitoring of renewable energy installations is successfully practiced (fig. 1).

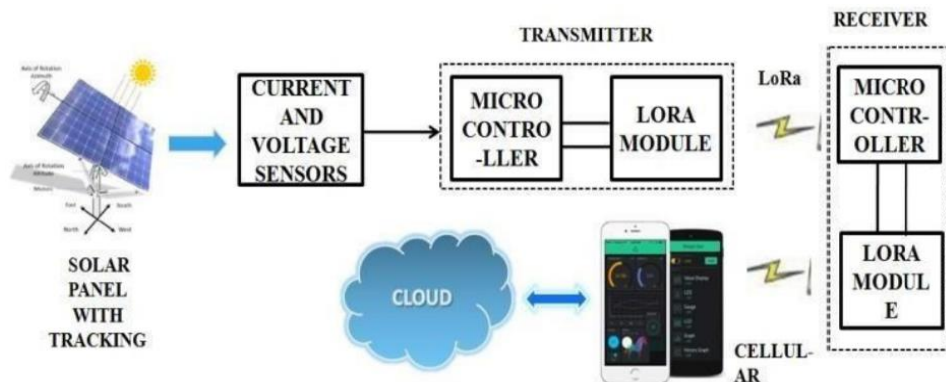


Fig.1. Structural diagram of remote control of RES installations based on LoRaWAN

The LoRaWAN specification is a Low Power, Wide Area (LPWA) networking protocol designed to wirelessly connect battery operated 'things' to the internet in regional, national or global networks, and targets key Internet of Things (IoT) requirements such as bi-directional communication, end-to-end security, mobility and localization services.

The LoRa radio technology and the LoRaWAN communication protocol have established themselves for LPWAN due to various aspects such as low deployment costs and open specifications. LoRa is the name of a radio technology developed and patented by the US company Semtech, which enables energy-saving and long-range data transmission. A Chirp Spread Spectrum (CSS) technique is used to transmit symbols. There are six spreading factors (SF7 to SF12). Higher spreading factors allow a greater range at the expense of a lower data rate [6]. Semtech also specifies how a LoRa packet is structured. LoRa itself defines the packet structure: In addition to a preamble, which announces the message packet and synchronizes the receiver with the incoming data, the packet consists of an optional header and a field for the payload, which can be defined by higher layer protocols.

LoRaWAN is a communication protocol that bases on LoRa and specifies mainly the medium access control (MAC) layer and network topology [13]. The LoRaWAN specification defines three transmission classes for end-devices. According to the specification, LoRaWAN devices must be able to implement at least Class-A [14]. In Class-A, the communication is based on an access method similar to pure-ALOHA. End-devices always initiate the communication. An uplink message is followed by two one-second intervals for incoming downlink messages from the network server [18]. Acknowledgements of incoming messages are optional. The procedure requires only little coordination effort. However, due to collisions, there is much more data loss with an increasing number of sent messages [15]. To keep the protocol as simple as possible, LoRaWAN only offers a stars-of-stars topology. Here, many end-devices communicate via gateways with a network server. According to the current LoRaWAN specification, direct point-to-point communication between the end-devices is not possible [16]. This is a problem for the approach of distributed verifiable identities: central instances are avoided for security reasons and the network nodes verify their respective identities.

LoRaWAN defines three types of devices (Class A, B and C) with different capabilities [6]. Class A devices use pure ALOHA access for the uplink. After sending a frame, a Class A device listens for a response during two downlink receive windows. Each receive window is defined by the duration, an offset time and a data rate. Although offset time can be configured, the recommended value for each receive window is 1 sec and 2 sec, respectively. Downlink transmission is only allowed after a successful uplink transmission. The data rate used in the first downlink window is calculated as a function of the uplink data rate and the receive window offset. In the second window the data rate is fixed to the minimum, 0.3 kbps. Therefore, downlink traffic cannot be transmitted until a successful uplink transmission is decoded by the gateway. The second receive window is disabled when downlink traffic is received by the end-device in the first window. Class A is the class of LoRaWAN devices with the lowest power consumption. Class B devices are designed for applications with additional downlink traffic needs. These devices are synchronized by using of periodic beacons sent by the gateway to allow the schedule of additional receive windows for downlink traffic without prior successful uplink transmissions. Obviously, a trade-off between downlink traffic and power consumption arises. Finally, Class C devices are always listening to the channel except when they are transmitting. Only class A must be implemented in all end-devices, and the rest of classes must remain compatible with Class A. In turn, Class C devices cannot implement Class B. The three classes can co-

exist in the same network and devices can switch from one class to another. However, there is not a specific message defined by LoRaWAN to inform the gateway about the class of a device and this is up to the application.

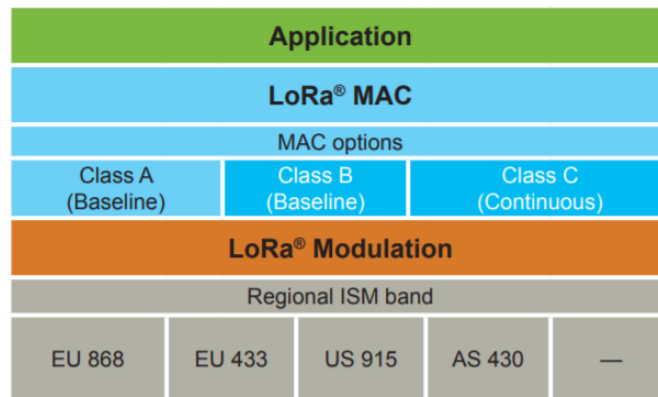


Fig.2. LoRa classes and band

LoRaWAN defines the communication protocol and system architecture for the network while the LoRa physical layer enables the long-range communication link. The protocol and network architecture have the most influence in determining the battery lifetime of a node, the network capacity, the quality of service, the security, and the variety of applications served by the network.

LoRa uses Industrial, Scientific, and Medical (ISM) frequencies, and every country or region has its frequency band. Europe uses 868 MHz, while the USA, Brazil, and Australia use 915 MHz, for example. Each country also uses a sub-band frequency scheme to create channels of transmissions. Each sub-band is composed of several frequencies called channels. Australia, for example, uses sub-bands composed of eight channels (frequencies) using 125 kHz bandwidth. The sub-band is essential to separate networks in the same area by using different frequencies. non-specialized SRD devices operating in the frequency ranges 863-868 MHz with a channel width of 100 KHz (up to 25 mw) can be used on the territory of the Republic of Kazakhstan without obtaining permits.

The goal of this article is to bring some sanity to these statements, by providing a comprehensive, fair and independent verification and design of LoRaWAN security with RSSI-position and Byzantine Fault Tolerance.

We design and verify the model for LoRaWAN with RSSI-position and Byzantine Fault Tolerance. Section II analyzes the methods of design and verification of the technology. Section III discusses the results of verification models to using BFT and RSSI-position for LoRaWAN security.

Research methods. We have placed our effort in researching and identifying the formal verification and LoRa WAN mesh protocol, testing the Sensor Chain Communication tree, verifying our model, starting programming with LoRa. fig. 3 describes the algorithm of determine accept / reject of Distrust – Alerts.

BFT protocols are commonly designed to achieve state-machine replication, where processes agree on an ordered set of incoming requests from clients, creating an input log that is equal on all processes. Running a deterministic state machine on the

log then produces the same results on each node. The design goals in this problem space are usually low latency and high throughput, enabling the protocol to handle a high volume of requests quickly.

This paper considers the related but slightly different problem of BFT log replication. In this problem, a set of n nodes, of which at most f may fail, periodically run a distributed algorithm to maintain a log [5].

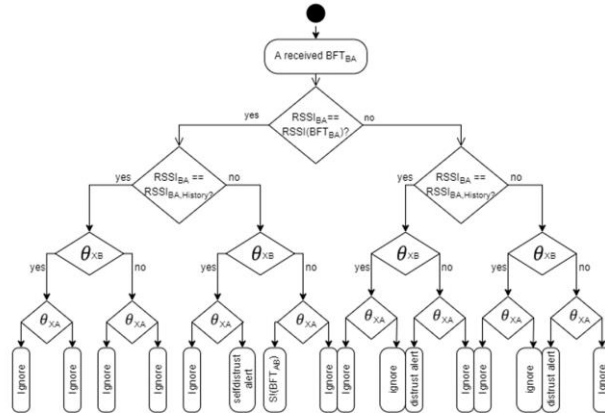


Fig.3. Algorithm of determine accept / reject of Distrust - Alerts

We have successfully validated the first model of Sensor Chain Communication Tree. We are currently making new modifications for the testing of our model.

The proof-of-location-algorithm bases on verifying a position as pretended by a node A with trilateration using distance measures by different network participants. These distance measures by different nodes and the communication between them embody the BFT-principle. In contrast to many applications, the NAVSTAR Global Positioning System (GPS) or other satellite-based systems are not recommended to use in a wireless sensor network [8]. Focusing on security and trust spoofing a GPS-Signal might be a serious security risk [9]. Furthermore, GPS works poorly in buildings and because of that an indoor positioning, which is necessary for many use-cases, is not possible [14]. Additionally, GPS receivers require a lot of power [10]. There are also several other methods, such as fingerprinting [11]. But best-known alternatives to satellite-based measurements base on the determination of distances (literation) or angles (angulation) [9], between sensor nodes combined with the Min-Max algorithm [12] to avoid computationally expensive square- and root-calculations. In our present-ed model, cheap sensor nodes should locate themselves as accurately as possible relative to a few anchor nodes using of the received-signal-strength-indicator RSSI. This eliminates the need for angulation, as it is not possible to determine the angle of incidence with cheap hardware. The deviations and limitations are RSSI measurements in terms of repeatability and reliability are known but can be neglected by capture areas using [7].

Results. Actual accomplishments: Literature review of Formal verification included wide variety of topics related of FV and FV tools, like UPPAAL for control devices used to perform exhaustive verification processes in order to optimize the design; the temporal logic to verify formally the concurrence of access to the control algorithms; the verification of system requirements.

We did a review to several tools and chose one suitable tool for Sensor Chain Communication. We considered Checking the correctness of the protocol development is a difficult task. Formal methods can be useful. A branch of formal methods is model validation, which is successfully used when verifying such protocols. For this reason, UPPAAL is a suitable model checker tool for modeling and verifying some formal properties to ensure the proper functioning of wireless protocols.

We have started testing the initial part of our model. We validated basically model of Sensor Chain Communication tree. Basic model validated successfully. We consider a LoRaWAN security with RSSI-position and Byzantine Fault Tolerance as shown in fig. 4, where the S-node is the sink node and the other nodes are modelled by the UPPAAL template presented above, with randomly chosen initial values for the timing parameters.

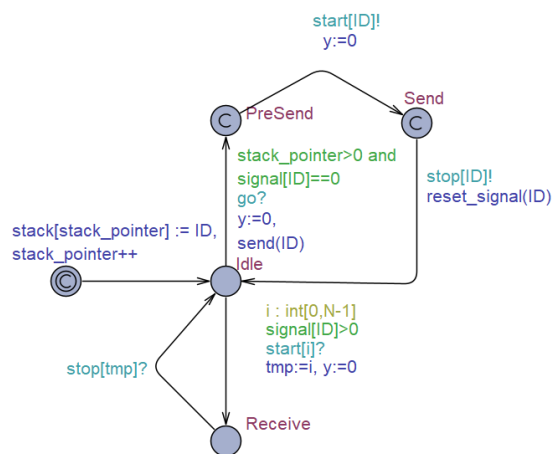


Fig.4. Verifying the initial part of Sensor Chain Communication Tree

The sink node is modelled as a simple automaton. It is not shown in the presentation as its essential behavior is only to accept packets from the other nodes and keep track of the number of packets received for each node. The network topology is chosen randomly [8].

Next step, this model considers three types of messages for communication within the network: payload messages, BFT messages and alert messages. Our second case tested with payload and alert messages (fig.5.). Payload messages are a payload to a certain location, and receivers to validate the sender's identity. When a payload message is received, the recipients will try to verify the sender's location. Alert messages are sent when a node detects a problem, that could either be violation of a predefined condition connected to the original measurement task or a manipulation attempt on the network or identities inside the network.

We will continue verifying the model of BFT messages. The goal is to increase the complexity of the samples to validate issues with the current implementation. We shall study the attacks of LoRaWAN security and develop the model to using RSSI-position and BFT.

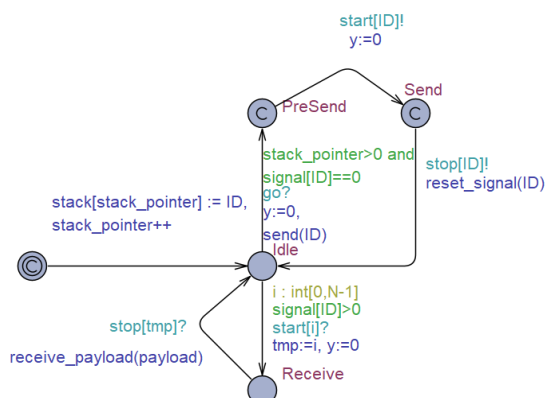


Fig.5. Validating Sensor Chain Communication Tree with payload and alert messages

Conclusions. The main contributions of this paper include: (1) We have developed a formal model that using timed automata for LoRa. We believe that the model can be extended easily to model and validate other transceivers (or wireless communication devices), and communication protocols. (2) We have shown how to use the UPPAAL tools to tune and validate the timing parameters of the sensor nodes are satisfied. (3) To study the accuracy of our model and analysis results, we have compared the simulation results by UPPAAL with other verification tools.

As future work, we shall study, design and verify the other types of LoRaWAN security requirements on RSSI-position and BFT. Another interesting direction for future work is to develop a logic and extend the UPPAAL model checker to fully capture. The challenge is to deal with properties concerning mean values such as security.

Funding. This work was partially supported by Satbayev University and Hamburg University Applied Science. Results obtained during an internship in Germany.

References

1. F. Satybaldiyeva, A. Saribayev, R. Beisembekova, G.Zh. Yessenbekova, A. Kultas. Development of models of the maximum power of the solar energy tracking system based on a photopanel. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 99. No 6. pp.1402-1413, 2021.
2. S. Ismailov, A Saribayev, A. Musabekov, S. Dosybekov, M. Sarybay. Information support of unmanned air vehicle by using the specialized automatic control system. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 98 Issue 7 pp.915-925, 2020.
3. A. Saribayev, T. Koishiyev, M. Sarybay, K. Moldakhmetova. The study of systems of automation and information support of the optical system of solar power tower. *Journal Industrial Technology and Engineering*, №4(5), pp.46-55, Shymkent, 2018.
4. M. Sarybay, A. Saribayev, D. Ermanova, D. Usvalieva. Algorithms of Virtual Software Wireless Communication Devices of Control System. *The Bulletin of KazATC*, №3 (106), p.173-185, Almaty, 2018.
5. A Formally Verified Protocol for Log Replication with Byzantine Fault

Tolerance // Joel Wanner, Laurent Chuat, Adrian Perrig // Conference: 2020 International Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS) // September 2020.

6. Proof-of-Location: A method for securing sensor-data-communication in a Byzantine fault tolerant way // Lorenz Bornholdt, Julian Reher, Volker Skwarek // ITG-Fachbericht 288: Mobilkommunikation, 15. – 16.05.2019 in Osnabrück.

7. Authentication by RSSI-Position Based Localization in a LoRa LPWAN // Sascha Kaven, Lorenz Bornholdt, Volker Skwarek // 2020 6th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt).

8. Model-Based Validation of QoS Properties of Biomedical Sensor Networks // Simon Tschirner, Liang Xuedong, Wang Yi // Conference: Proceedings of the 8th ACM & IEEE International conference on Embedded software, EMSOFT 2008, Atlanta, GA, USA, October 19-24, 2008.

9. Wireless Sensor Networks // R. R. Selmic, V. V. Phoha, and A. Serwadda // Cham: Springer International Publishing, 2016.

10. Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on GPS // J. A. Volpe // National Transportation Systems Center, 2001.

11. Localization Algorithms in Wireless Sensor Networks: Current Approaches and Future Challenges // A. Pal // Network Protocols and Algorithms, Vol. 2. no. 1, p. 45–73. 2011.

12. Model-based localization and tracking using bluetooth low-energy beacons // F. S. Danis, A. T. Cemgil // Sensors (Switzerland), Vol. 17. no. 11. pp. 1–23, 2017.

13. A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things // A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley // Sensors (Switzerland), Vol. 16. no. 9, 2016.

14. LoRa Alliance, “LoRaWAN 1.0.3 specification,” Lora-Alliance.Org, no. 1 [Online], Accessible: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf>, pp. 1–72, 2018. [Online]. Available: <https://loraalliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf>

15. LoRa™ Alliance, “LoRaWAN Regional Parameters,” Tech. Rep., 2020. [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2020-02/rp2-1.0.1.pdf>

16. F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. MeliaSegui, and T. Watteyne, “Understanding the Limits of LoRaWAN,” IEEE Communications Magazine, Vol. 55. no. 9. pp. 34–40. 2017.

17. Synchronous LoRa Mesh Network to Monitor Processes in Underground Infrastructure // C. Ebi, F. Schaltegger, A. Rust, and F. Blumensaat // IEEE Access, vol. 7, pp. 57 663–57 677. 2019.

18. International Standardisation Organisation, “ISO 24534-4:2010 Automatic vehicle and equipment identification — Electronic registration identification (ERI) for vehicles — Part 4: Secure communications using asymmetrical techniques,” Geneva, Switzerland, International Standard 24534-4:2010, 2010.

Presented by Satbayev University, Kazakhstan

УДК 53.083.92:53.082.7

**ИЗМЕРЕНИЕ, ОБРАБОТКА ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА И ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ НА РЕГИСТР
MODBUS RS-485**

Н.А. Матчанов, Х.Х. Кулматов, Ш.А. Муминов

Maqolada fotoelektrik tizimlarni ekspluatatsiya qilishning ishonchligini oshirish yoʻlidagi muammolarni tizim faoliyatini onlayn monitoring qilish yoʻli bilan, mikrokontroller qurilmasining hamda mantiqiy ishlov berish va internet buyumlar IoT qurilmalarining imkoniyatlarini hisobga olgan holda Modbus RS-485 registridan foydalanish orqali hal qilish yoʻllari muhokama qilinadi. Mazkur tadqiqot ishida fotoelektrik tizimlarning chiqish parametrlarini kuchlanish qiymatiga koʻra sinflarga boʻlish, shuningdek 12 bitli ASP usuli yordamida mikrokontrollerning har bir qadamidagi oʻlchash sezgirligini 0 dan 1024 ga va 0 dan 4096 ga qadar oshirish imkonini beruvchi usuldan foydalanish taklif etilmoqda. Ishlab chiqilgan onlayn monitoring tizimi yordamida serverda fotoelektrik tizimning soatlik, kunlik, oylik va yillik maʼlumotlarni 5 daqiqalik vaqt qadami bilan shakllantirish hamda foydalanuvchilarga veb-sahifada taqdim etish imkoni mavjudligi koʻrsatilgan.

В статье рассматриваются пути решения проблемы эксплуатационной надежности фотоэлектрических систем с помощью системы онлайн-мониторинга работы фотоэлектрических систем с использованием регистр Modbus RS-485 с учетом возможностей микроконтроллера и логической обработки и устройств интернет вещей IoT. Предложен метод разделения на классы, основные выходные параметры ФЭС относительно напряжения, также предложен метод использования 12 битного АЦП. Это в результате даст возможность повышения чувствительности измерения микроконтроллера при одном шаге, - от 0 до 1024 и от 0 до 4096. Показано, что с помощью разработанной системы онлайн мониторинга имеется возможность сформировать на сервере часовые, суточные, месячные и годовые данные работы ФЭС с временным шагом за каждые 5 минут, которые будут предоставляться пользователям на web-странице.

The article discusses ways to solve the problem of operational reliability of photovoltaic systems using an online monitoring system for the operation of photovoltaic systems using the Modbus RS-485 register, taking into account the capabilities of the microcontroller and logic processing and IoT devices. A method of dividing into classes, the main output parameters of the FES with respect to voltage is proposed, a method of using a 12-bit ADC is also proposed. As a result it will make possible to increase the sensitivity of the microcontroller measurement in one step, from 0 to 1024 and from 0 to 4096. It is shown that with the help of the developed online monitoring system, it is possible to generate on the server hourly, daily, monthly and annual data

on the operation of the FES with a time step for every 5 min. which will be provided to users on a web page.

Введение. Необходимо отметить, тенденция перехода в «зеленую энергетику» получила широкое распространение после принятия Парижского соглашения по определению на национальном уровне вкладов (ОНУВ) по борьбе с изменением климата [1], которая в свою очередь послужила расширению масштабов практического использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Аналитики Международного энергетического агентства (МЭА) прогнозируют, что уже к 2050 г. солнечная энергетика, являющаяся одним из основных видов ВИЭ, будет обеспечивать 20-25% мировых потребностей в электроэнергии [2].

В данном контексте стоит отметить, что в связи с имеющимся огромным потенциалом солнечной энергии в Узбекистане, весьма перспективно проводить исследования по измерению и обработке выходных параметров фотоэлектрических станций (ФЭС), которые в свою очередь послужат толчком при вовлечении в баланс энергопотребления страны ВИЭ, что в недалеком будущем даст неоценимые конкурентные преимущества перед остальными странами мира.

Известно, что в Узбекистане Правительством разрабатываются механизмы стимулирования и поддержки развития ВИЭ. Так, согласно «Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», страна намерена увеличить к 2026 году долю ВИЭ до 25% в общем объеме производства электроэнергии в стране, в том числе, установить 8 ГВт солнечной и ветровой энергии [3].

В вышеуказанной Стратегии, необходимо решить задачи касательно разработки современных схем организации производства электрической энергии, предусматривающую при этом широкое привлечение частных, включая иностранных, прямых инвестиций в предприятия по производству электрической энергии, в том числе на условиях государственно-частного партнерства и проработать с потенциальными инвесторами новые инвестиционные проекты в сфере электроэнергетики на условиях ГЧП, исходя из имеющейся ресурсной базы, современных технологических тенденций и использования альтернативных источников электроэнергии [4].

Вышеупомянутые нормативно-законодательные базы служат ускорению процесса широкого применения ВИЭ в Узбекистане и их интеграции в единую энергетическую систему.

В связи с ростом населения в стране, а также с увеличением интересов в производстве фотоэлектрической энергии в общем энергобалансе фотоэлектрические технологии в ближайшей перспективе смогут преодолеть отставание от более низкой мощности, распространив свой отпечаток на городские/населенные районы. Также, в результате оказываемой поддержки со стороны государства в ближайшие годы ожидается резкое увеличение числа фотоэлектрических систем/установок, что в очередь диктует необходимость разработки технологии, которые отслеживают производство фотоэлектрической энергии на установленной фотоэлектрической установке. Целью таких технологий является мониторинг фотоэлектрических станций, а далее прогнозирование рас-

познавание различных нежелательных ситуаций, которые могут снизить уровень производства энергии от доступного солнечного излучения [5]. Более того, непрерывный мониторинг состояния ФЭС является достаточно важным для выявления причин, препятствующих желаемой производительности [6].

В данной статье, авторами предложен способ проведения измерений, обработки выходных параметров ФЭС мощностью 50 кВт, установленной в фермерских хозяйствах в рамках совместного проекта Всемирного Банка, Европейского Союза и Water Projects Implementation Center «Управление водными ресурсами в Ферганской долине. Фаза-2», на основе микроконтроллера и передача данных на регистр Modbus RS-485, дающий возможность работать с большим набором данных и их безопасной передачи в сервер.

Методы и материалы. Известно, что MODBUS-RTU (Remote Terminal Unit) является вариантом наиболее широко используемого протокола связи MODBUS для передачи промышленных данных и связи. В протоколе приложений MODBUS определяется структура сообщений в режиме клиент/сервер для прикладного уровня, и в протоколе последовательной линии MODBUS указывается мастер. /slave архитектура для канального уровня, режимы передачи ASCII (американский стандартный код для обмена информацией) и RTU (удаленный терминал) в дополнение к требованиям для их реализации по линиям EIA/TIA-485 (RS-485 [7]) и EIA/TIA-232 [8].

Преимущество протокола Modbus RS485 заключается в том, что он широко используется в целях управления производственными процессами и объединением устройств по сравнению с TCP/IP ethernet, так как RS485 имеет возможность параллельного подключения устройств с длиной контакта до 1200 м и используется двухжильный кабель для подключения [7]). В технологии же TCP/IP Ethernet длина соединения не должна превышать 100 м, а также прокладка кабеля витой пары должна быть отдельно для каждого устройства, что создает ряд неудобств в технологическом процессе. Технологии, которые передаются в виде радиосигналов на основе TCP/IP Ethernet, такие как WiFi, Bluetooth и т. д., снижают уровень связи из-за большого количества их сбоях (рис.1).

Выбор протокола Modbus RS-485 также обусловлен тем, что в современных инверторах, используемых в ФЭС последних технологий, существует порт данного протокола [9]. Разработка измерительного устройства на основе микроконтроллеров также обусловлена наличием возможности их применения в вышеуказанных инверторах. Совместное использование протокола Modbus RS-485 и измерительного устройства на основе микроконтроллеров способствует передаче выходных параметров ФЭС (выходного напряжения, тока и температуры фотоэлектрических модулей) в сервер.

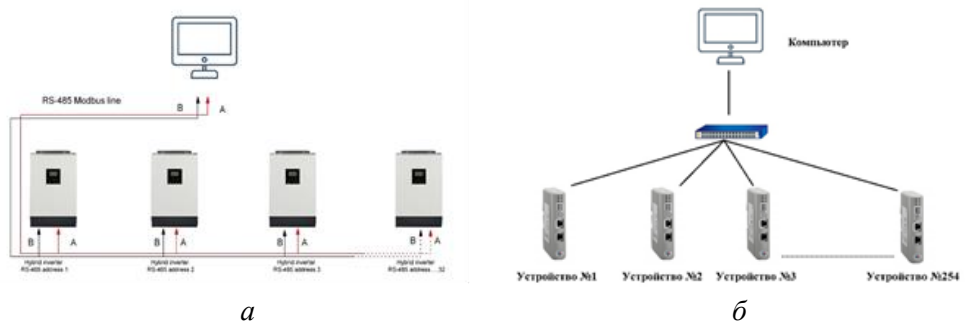


Рис.1. Схема подключения протокола RS-485 (а) и технологии TCP/IP ethernet (б) к управлению

В микроконтроллерах используется стандартный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) до 10 битов, в случае измерения больших значений промежуточного напряжения, для повышения чувствительности его измерения при одном шаге, с помощью использования логического подхода, применены 10 битный и 12 битный АЦП с шаговым интервалом от 0 до 1024 и от 0 до 4096.

Результаты и обсуждение. Как известно, различаются два основных типа солнечных фотоэлектрических систем [10]:

- автономные системы;
- on-grid сетевую систему, работающие параллельно с сетью.

Автономная фотоэлектрическая станция (АФЭС), кроме фотоэлектрических панелей (ФП), как правило, содержит аккумуляторные батареи (АБ) и контроллер заряда/разряда (рис.2). При необходимости электроснабжения потребителей, требующих стандартного напряжения 220/380 В переменного тока, в состав ФЭС необходимо включить инвертор.



Рис.2. Схема автономной системы ФЭС

Параметры элементов ФЭС (тип и количество ФП, емкость АБ, мощность инвертора), а соответственно, и ее стоимость зависят от многих факторов: состава электрической нагрузки и среднесуточного электропотребления, характера работы ФЭС (сезонный или круглогодичный), среднемесячного прихода солнечной радиации и числа последовательных неясных дней в месте установки

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

фотоэлектрических модулей, системы ориентации солнечных панелей и некоторых других факторов [10]. Основные АФЭС мощностью до 10 кВт построены на основе инвертора с напряжением до 100 В при входе.

Второй тип ФЭС является фотоэлектрической системой, состоящей из солнечных батарей, инвертора типа on-grid с возможностью добавления аккумуляторной батареи (АБ).

Согласно структуре вышеуказанных систем, в случае рассмотрения ФЭС второго типа, при их мониторинге, основные выходные параметры нами предлагается разделить на 3 класса, в зависимости от предела измерения выходного напряжения:

1. 0-100 В;
2. 0-1000 В;
3. 0-4000 В.

На рис. 3 представлена схема подключения ФЭС мощностью 50 кВт, установленной в фермерских хозяйствах в рамках совместного проекта Всемирного Банка, Европейского Союза и Water Projects Implementation Center «Управление водными ресурсами в Ферганской долине. Фаза-2».

В случае измерения большого промежуточного напряжения, например, 0-1000 В, 10 битный АЦП с шаговым интервалом от 0 до 1024 через один шаг чувствует напряжение в 0,98 В [11, 12], при использовании которого для измерения всех 3-х классов выходного напряжения, неточность измерений увеличивается в 4 раза. В связи с этим, нами поднят значение бита АЦП через логический подход на 12 бит, в результате чего шаг интервала получится от 0 до 4096, что позволит при одном шаге чувствовать напряжение в 0,24 В, которое в свою очередь даёт возможность более точных измерений этой величины. Формула (1) и код перекодирования предлагаемого способа приведены ниже.

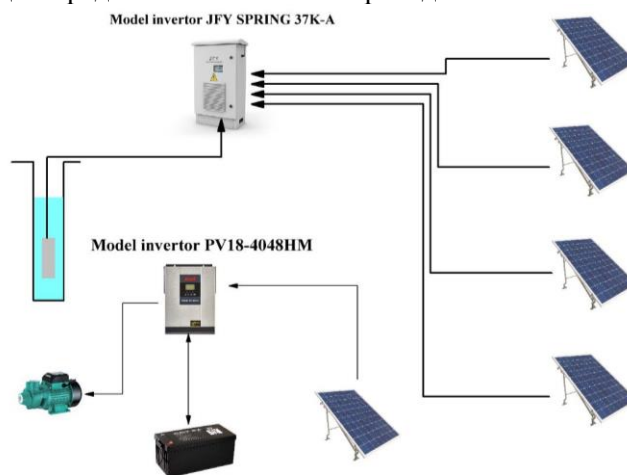


Рис.3. Схема подключения ФЭС мощностью 50 кВт

Известно, что среднее значение (среднее значение или смещение постоянного тока) в дискретном времени представляет собой сумму всех значений выборки, деленную на количество выборок [13]:

$$X_{avr} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n). \quad (1)$$

Среднеквадратичное значение в дискретном времени можно рассчитать с помощью следующего уравнения [13]:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k^2} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}. \quad (2)$$

В случае использования данного кода для выбранной системы, логически разделенной на 3 класса, получится возможность более точно измерить данные входного и выходного напряжения и для 3-го класса.

Инверторы, контроллеры и другие устройства, используемые в ФЭС, имеют возможность передачи данных на устройства IoT по протоколу Modbus RS-485 [9]. Количество регистров Modbus RTU в одном адресе для одного устройства составляет 50000 и они делятся на дискретные (цифровые) и аналоговые (от 1 до 1999 – дискретные, через которого можно организовать управление, от 30000 - 49999 – аналоговые регистры, через которые можно получить измеренные данные от прибора).

Также, для передачи обработанных результатов используется технология MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), широкий спектр возможностей данной технологии позволяет производителям удобно интегрировать IoT-устройства с любыми устройствами [9].

Разрабатываемая нами системе онлайн мониторинга работы ФЭС основана на вышеуказанных протоколе и технологии передачи данных на устройства IoT. Инверторы, использованные в разработанной нами системе, типа Hybrid, и при интеграции их к серверу на основе технологий MQTT для подключения к модему IoT 4G, который отправляет данные с каждого инвертора на сервер через Интернет. На рис. 4 приведена принципиальная схема системы онлайн мониторинга выходных параметров ФЭС.

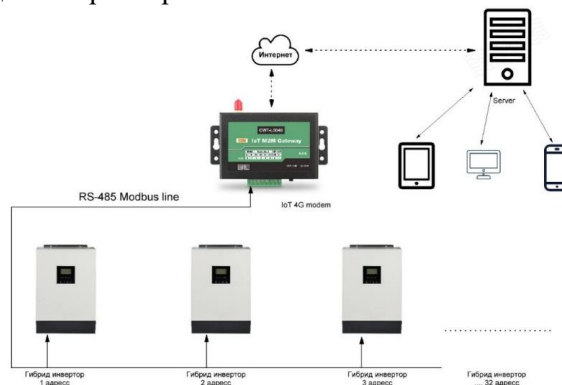


Рис.4. Принципиальная схема системы онлайн мониторинга выходных параметров ФЭС

Разработанная нами система онлайн мониторинга считывает информацию с каждого инвертора за каждые 5 мин. и размещает ее на сервере. В результате на сервере формируются часовые, суточные, месячные и годовые данные с временным шагом за каждые 5 мин., что позволяет получать аналитические

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

результаты работы фотоэлектрической системы с пятиминутным шагом измерений данных.

На рис.5 приведена схема подключения и принцип работы технологии передачи обработанных результатов MQTT.

С помощью разработанной системы онлайн мониторинга работы ФЭС созданная по этому протоколу, имеется возможность следить за ориентацией и расположением ФЭС, количеством устройств в системе, а также входными и выходными измеряемыми данными, такими как напряжение, ток, мощность, температура окружающей среды, влажность воздуха и др. При необходимости можно добавить другие параметры.

Модем IoT 4G передает данных с измерительных устройств на систему в виде протокола MQTT RTU. Система расшифрует, обработает эти данные и предоставит пользователям на web-странице.

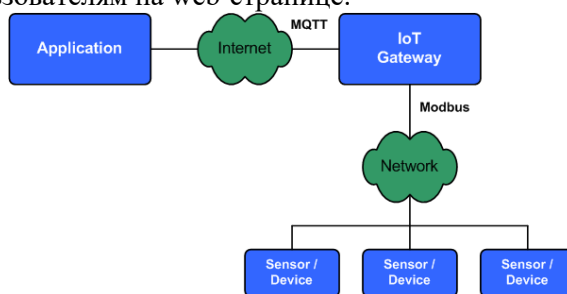


Рис.5. Схема подключения и принцип работы технологии MQTT

Выводы. Разработана система онлайн-мониторинга работы ФЭС, основные выходные параметры которой относятся к 1- и 2-му классам измеряемых данных – входное напряжение ФЭС 1- и 2- классов 48В и 1000В а выходное напряжение 220В и 380В, соответственно.

Для повышения чувствительности измерения микроконтроллера при одном шаге, использован метод логического подхода и 10 битный АЦП микроконтроллера повышен на 12 битный 0 до 1024 и от 0 до 4096, а также создана возможность применения данного микроконтроллера в вышеуказанном объекте.

Разработанная система онлайн мониторинга позволила сформировать на сервере часовые, суточные, месячные и годовые данные работы ФЭС с временным шагом за каждые 5 мин., которые предоставляются пользователям на web-странице.

Полученные результаты способствуют нахождению комплексных решений проблем, связанных с мониторингом работы ФЭС, в целях максимизации эксплуатационной надежности фотоэлектрической системы при минимальных системных затратах.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства инновационного развития Республики Узбекистана в рамках проекта AL-5721122072 «Комплексное использование данных о солнечной радиации с наземных спутников наблюдения и геостационарных метеорологических спутников для устойчивого развития сельского хозяйства, водных и энергетических ресурсов».

Acknowledgments. The work was carried out with the financial support of the Ministry of Innovation Development of the Republic of Uzbekistan in the framework of project AL-5721122072 “Integrated use of solar radiation data from ground-based observation and geostationary meteorological satellites for sustainable agriculture, water and energy sources development”.

Литература

1. Парижское соглашение по климату. <https://unfccc.int/ru/peregovornyy-process-i-vstrechi/parizhskoe-soglashenie/chto-takoe-parizhskoe-soglashenie>
2. Официальный отчет МЭА на 2021 г. <https://iea.org>
3. Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы» от 29.01.2022 г. <https://lex.uz/ru/docs/5841077>
4. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-3981 «О мерах по ускоренному развитию и обеспечению финансовой устойчивости электроэнергетической отрасли» от 23.10.2018г.
5. Котельников Д.Ю. Устройство автоматического мониторинга и диагностики солнечной электростанции. // «Дневник науки», 2021, №5, стр. 1-9. www.dnevniknauki.ru. СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327.
6. Syafaruddin, Nella Chintia Mendeng, Pilipus Master and Zaenab Muslimin. Real-time and continuous output power monitoring of photovoltaic (PV) systems // ICIC Express Letters, Volume 9, Number1, January2015. pp. 9–16.
7. Протокол RS-485. <https://ru.wikipedia.org/wiki/RS-485>
8. Claudio Urrea, Claudio Morales, Rodrigo Muñoz. Design and implementation of an error detection and correction method compatible with MODBUS-RTU by means of systematic codes/ Measurement, Volume 91, September 2016, Pages 266-275.
9. Х.Х. Кулматов. Оценка возможности передачи выходных параметров солнечных фотоэлектрических станций на основе протокола RS-485 и интернет вещей на облачный сервер. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2022, №2, стр. 149-158.
10. Усков А.Е., Дайбова Л.А. Кравченко Н.А., Самойлов А.Н. Photovoltaic plants: prospects, advantages, disadvantages and their characteristics / Научный журнал КубГАУ, №124(10), 2016, стр.1-11.
11. Н.А. Матчанов, Х.Х. Кулматов, Б.Н. Бутунбаев, А.А. Мирзаев. Программа для определения выходного напряжения, тока и температуры фотоэлектрической модули. Свидетельство на программный продукт ЭВМ. № DGU 04373, 31.03.2017
12. Мухитдинов М., Кулматов Х., Фазилжанов И. Свидетельство: Измерение и управление параметрами тока и напряжения для мобильного ИБП. № DGU 02769. 2013.03.15
13. Статистические ряды распределения. Теория статистики. <https://math.semestr.ru/group/standard-deviation.php>

Представлено Национальным научно-исследовательским институтом возобновляемых источников энергии

ТЕПЛОЗАЩИТА ЗДАНИЙ ПРИ СОЛНЕЧНОМ ОТОПЛЕНИИ

Ш.И. Клычев, И.Г. Кенжаев, М.Т. Зохидов, Ш.А. Маразаков,
Ш.С. Ташева

Биноларнинг уч қаватли ёпиқ деворлари орқали стационар бўлмаган иссиқлик узатишни ҳисоблаш усули таклиф этилади, бу тўсиқнинг ўзгарувчан тушиши ва ўз нурланиши ва ташиқи ҳаво ҳароратини ҳисобга олган ҳолда фарқланади. Ушбу усул бўйича муаммони рақамли ҳал қилиш алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган. "Оддий" деворнинг иссиқлик йўқотиш динамикаси ва ташиқи иссиқлик изоляцияси баҳоланди. Оддий деворнинг термал инерцияси деворнинг ташиқи ва ички юзасининг иссиқлик йўқотилишига ва улар ўртасида ёзишмалар ўрнатиш вақтига сезиларли таъсир кўрсатиши аниқланди. Шундай қилиб, қалинлиги 1 мм бўлган қатламлари бўлган уч қаватли девор учун 4% оқим фарқи билан ёзишмаларни ўрнатиш вақти тахминан 24 соатни ташиқил қилади, 5 мм қатлам учун у аллақачон 250 соатдан ортиқ, яъни ҳатто оддий деворларда ҳам стационар режим ўрнатилмаган. Бундай ҳолда, девор орқали иссиқлик йўқотилишини тўлиқ тавсифловчи параметр унинг ички юзасининг ҳарорати ҳисобланади. Иссиқлик оқимларини радиация ва конвекция билан оддий йиғиш, айниқса деворнинг ташиқи юзасида, одатда одатдагидек, умуман тўғри эмаслиги, уларнинг белгиларини ҳисобга олиш кераклиги кўрсатилган.

Предложена методика расчета нестационарной теплопередачи через трехслойные ограждающие стены зданий, отличающаяся учетом переменного падающего и собственного излучения ограждения и температуры наружного воздуха. Разработан алгоритм и программа численного решения задачи по данной методике. Проведены оценки динамики тепловых потерь «обычной» стены и с наружной теплоизоляцией. Получено, что тепловая инерционность уже обычной стены заметно влияет на тепловые потери наружной и внутренней поверхности стены и на время установления соответствия между ними. Так, для трехслойной стенки со слоями толщиной по 1 мм время установления соответствия при разности потоков в 4% составляет около 24 час. для 5 мм слоев уже более 250 час. т.е. даже в обычных стенах фактически не устанавливается стационарный режим. При этом параметром, наиболее полно характеризующим теплопотери через стену, является температура её внутренней поверхности. Показано, что простое суммирование тепловых потоков излучением и конвекцией особенно на наружной поверхности стены, как это обычно принято не совсем верно, необходимо учитывать их знаки.

A method for calculating non-stationary heat transfer through three-layer enclosing walls of buildings is proposed, which differs by taking into account the variable incident and intrinsic radiation of the enclosure and the outside air temperature. An algorithm and a program for the numerical solution of the problem have been developed. Estimates of the dynamics of heat losses of the "ordinary" wall and with external thermal insulation were carried out. It was found that the thermal inertia of an

already ordinary wall noticeably affects the heat losses of the outer and inner surfaces of the wall and the time it takes to establish a correspondence between them. So for a three-layer wall with layers 1 mm thick, the time to establish a correspondence with a flow difference of 4% is about 24 hours, for 5 mm layers it is already more than 250 hours, i.e. even in ordinary walls, a stationary mode is not actually established. In this case, the parameter that most fully characterizes the heat loss through the wall is the temperature of its inner surface. It is shown that a simple summation of heat fluxes by radiation and convection, especially on the outer surface of the wall, as is usually accepted, is not entirely correct, it is necessary to take into account their signs.

Одной из основных составляющих, обеспечивающей комфортные условия проживания, является уровень теплозащиты ограждающих конструкций зданий [1-2].

Задачи улучшения теплозащитных характеристик ограждений особенно важны при солнечном отоплении, учитывая жесткие ограничения на габариты и стоимость солнечных установок, т.е. здесь особенно важны теплозащитные свойства наружных ограждений (стен) зданий. Теплозащитные свойства стен характеризуются сопротивлением теплопередаче (термическое, приведенное, требуемое или нормируемое), а также в соответствии с этими характеристиками и климатическими условиями удельной отопительной характеристикой здания, или мощностью теплоисточников на единицу объема помещения или площади пола [3-8]. Эти нормы в строительстве разработаны достаточно подробно, однако до сих пор они определяются только в предположении стационарного режима, а внешние факторы представляются в виде некоторых расчетных температур наружного воздуха, а также коэффициентов, характеризующих, например, ориентацию здания, потоки излучения Солнца, а также влияния окружающих зданий и сооружений и неба. Для обеспечения большего соответствия к действительным тепловым режимам зданий они выбираются на основе экспериментальных исследований.

Такой подход представляется целесообразным, так как на тепловой режим зданий влияет большое число переменных внешних и внутренних факторов. В связи с задачами повышения теплозащиты зданий и экономии энергии на отопление исследования в этой области продолжаются, в частности, в последние годы, говорится о необходимости учета и суточных колебаний климатических факторов [9,10]. Это важно и для нашего региона с резким континентальным климатом и задачами использования солнечной энергии для уменьшения расходов на отопление.

В общем случае для учета влияния этих факторов на тепловые потери стен необходимо решение нестационарной задачи теплопередачи через многослойные наружные ограждения зданий, которая также учитывала бы, как суточную переменность температуры наружного воздуха, так и тепловых потоков падающих и собственного стен, включающих как конвективные, так и лучистые составляющие.

Можно отметить, что и в теплотехнике до настоящего времени ведутся разработки методов численного решения задач нестационарной теплопередачи через многослойные тела. Предложены ряд подходов, однако достаточно прак-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

тичной методики решения этой задачи, особенно в части учета многослойности и собственного излучения пока не имеется [11-13]. Нами ранее была предложена методика решения этой задачи для определения нестационарных температур и тепловых потерь двухслойного шарового и трехслойного цилиндрического теплового аккумулятора без учета переменности падающего излучения и наружных температур [14-16].

Целью настоящей работы является разработка методики численного решения задачи нестационарной теплопередачи через трехслойные плоские стены с учетом переменности падающих потоков излучением (небо, Солнце, сооружения) и конвекцией (температура и скорость ветра наружного воздуха) и собственных потоков излучением и конвекцией для случая постоянной температуры воздуха в помещении и оценка нестационарных тепловых потерь "обычных" стен и с наружным теплоизоляционным слоем и сравнительная их оценка с удельной отопительной характеристикой.

При разработке методики решения задачи нестационарной теплопередачи через трехслойную стенку будем основываться на разработанных нами способах решения аналогичных одномерных задач [14-16], где достаточно подробно изложены способы описания задачи и способы учета падающих и собственных излучений в том числе для многослойной одномерной стенки. Отличие данной задачи заключается в сопряженности температуры воздуха в помещении с теплозащитными характеристиками трехслойной стены и с переменными наружной температурой воздуха и потоками падающего излучения.

Схема "расчетной" трехслойной стенки и помещения и её характерные параметры приведены на рис.1, где 1,2,3 – слои стенки (ограждения) с различными теплофизическими характеристиками (λ , ρ , c) и толщинами h ; E_s , E_r , E_z – плотности потоков излучения Солнца, неба и Земли (окружающая поверхность, деревья, здания и сооружения); $t_{св}$, $t_{сн}$, t_k – температуры внутренних и наружных поверхностей стены и комнаты (малые t в $^{\circ}\text{C}$); габаритные размеры помещения A , B , H .

Также в этой методике решения задачи принято, что температуры остальных внутренних поверхностей помещения равны температуре внутренней поверхности расчетной стены (см. рис.1), т.е. результирующие потоки излучением на этих поверхностях, а также пола и потолка равны нулю.

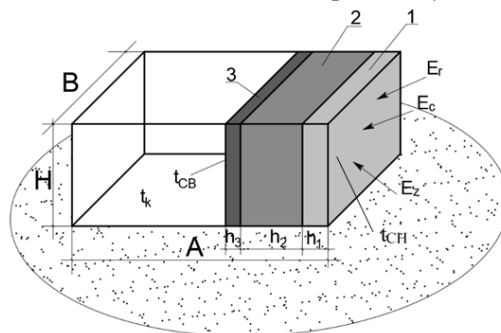


Рис.1. Тепловая модель трехслойной стенки и помещения

При этом, сопряженность задачи для постоянной температуры воздуха в помещении заключается в том, что теплотери (теплопоступления) в помеще-

ние характеризуют мощности N теплоисточника (кондиционера), необходимые для поддержания постоянной температуры воздуха в помещении (воздухообмен в помещении, не нарушая общности задачи не учитываем), или

$$N = q * S = \alpha * (t_K - t_{CB}) * S, \quad (1)$$

где q – удельный тепловой поток на расчетной стене, Вт/м², при $q > 0$ тепловой поток подводится к стене т. е. идут теплотери через стену; α - коэффициент конвективной теплоотдачи на внутренней стенке помещения; S – общая площадь поверхностей помещения.

Для внешних факторов считаем, что потоки излучения неба и Земли постоянны, а переменны только температура наружного воздуха и поток солнечного излучения, модельные приближенные представления которых приведены на рис.2. Эти модельные представления отличаются от реальных, особенно солнечное излучение, однако для данной задачи важно то, что они отражают факт изменения этих факторов во времени.

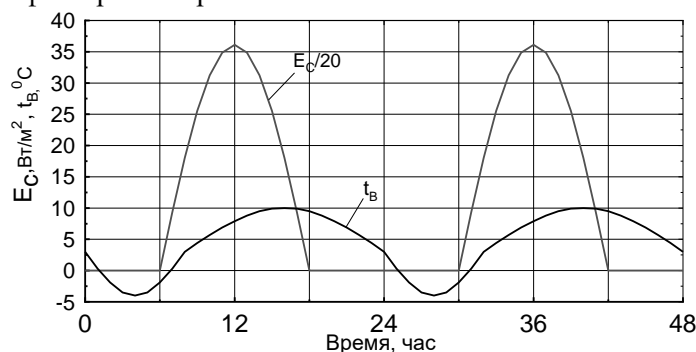


Рис.2. Модельные характеристики потока солнечного излучения на вертикальной стенке (E_c) и температуры наружного воздуха (t_b) во времени для зимнего сезона

Так как q изменяется во времени вследствие переменности внешних факторов и также зависит и от теплозащитных характеристики стены, то переменено во времени и N . Эта методика позволяет определять нестационарные тепловые потоки и температуры на наружных и внутренних поверхностях стены и распределение температур во времени во всех слоях. На основе данной методики был разработан алгоритм и программа численного решения задачи на языке Дельфи.

На рис.3 для зимних солнечных дней представлены изменения во времени плотностей потоков излучением ($q_{изн}$) и конвекцией ($q_{кн}$) на наружной поверхности стены и конвекцией ($q_{кв}$) на внутренней поверхности для обычной трехслойной стенки (штукатурка – кирпичная кладка – штукатурка) с параметрами: штукатурка (5см, $\rho = 1800$ кг/м³, $c = 840$ Дж/кг⁰С, $\lambda = 0.76$ Вт/м⁰С) - кирпичная кладка (38 см, $\rho = 1600$ кг/м³, $c = 880$ Дж/кг⁰С, $\lambda = 0.58$ Вт/м⁰С) - штукатурка (5см). Расчеты проводились для постоянной температуры воздуха в помещении (t_k) равной 20⁰С и постоянных коэффициентах конвективной теплоотдачи равных для наружной поверхности стены 10 Вт/м² °С (около половины от суммарной рекомендуемой в строительстве, т.к. нами потоки излучением учитываются

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

отдельно) и для внутренней $5 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Излучательные и поглощательные характеристики наружной поверхности стены равны 0.5, температура неба равна -5°C , Земли 0°C , их суммарное излучение на стены принято равной их полусумме.

Как видно, плотности тепловых потоков на наружной и внутренней поверхности стены существенно различаются, причем в течение суток могут изменяться и их знаки (нами принято, что положительные значения потоков это, когда стена поглощает поток, а отрицательные, когда стена отдает поток). Причем видно, что суммирование потоков излучения и конвекцией, как это обычно принято не всегда верно и надо учитывать их знаки. Такое различие потоков на внутренней и наружной поверхности можно объяснить заметным влиянием уже для «обычной» стены её тепловой инерции.

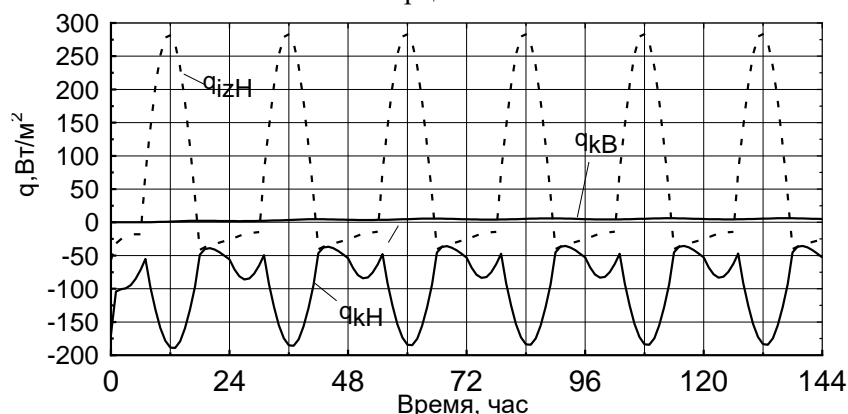


Рис.3. Плотности тепловых потоков на наружной поверхности стены излучением ($q_{изН}$) и конвекцией ($q_{кН}$), и конвекцией ($q_{кВ}$) на внутренней поверхности

Из данных на рис.3 также следует, что теплопотери стены (помещения) характеризуются в основном теплопотерями через внутренние поверхности ограждающих стен. В данном варианте, напомним принято, что внутренние поверхности всех остальных стен помещения всегда равны внутренней температуре расчетной стены, т.е. рассмотрен случай, когда результирующие потоки излучением между внутренними поверхностями стен в помещении равны нулю. Естественно, при различии в температурах внутренних поверхностей стен излучение также будут влиять на теплопотери и в будущем её величину желательно оценить. Более детальные оценки тепловых потерь внутренней поверхности расчетной стены в зимнее время (мощности N или её удельные значения q , необходимых для поддержания постоянной температуры воздуха в помещении) для случая, когда стена освещается и не освещается Солнцем (штриховые кривые) приведены на рис.4. Там же приведены приближенная нормативная отопительная характеристика помещения в зимнее время для наших условий ($0.37 \text{ ккал/м}^3 \text{ час}^\circ\text{C}$, [17]), отнесенная здесь к общей площади поверхности стен помещения ($5 \text{ м} \times 5 \text{ м} \times 4$), а также данные по влиянию теплоизоляции на теплопотери для случая, когда наружная штукатурка заменяется на теплоизоляцию (стекловата $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$, $c = 670 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$, $\lambda = 0.0372 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$) различной толщины от 2 см до 10 см.

Как видно, тепловые потери ($q_{св} = -q$), или удельные мощности источника q для стен освещаемых и не освещаемых Солнцем, особенно для исходной стены заметно различаются.

Причем видно, что уже для обычной стены, освещаемой Солнцем, теплотери меньше нормативных, а когда она не освещается Солнцем (штриховая кривая) потери превышают нормативные и требуется усиление её теплозащитных характеристик. Как видим, влияние теплоизоляции на теплотери существенно.

Так, уже при наличии двухсантиметровой теплоизоляции теплотери уменьшаются почти в два раза по сравнению с обычной стеной, существенно уменьшается и амплитуда суточных колебаний температуры, причем как видно в данном случае для всех рассмотренных вариантов эти колебания приходят к примерно постоянным значениям примерно через 90 час. или через 4 суток. Исследование этого вопроса, а именно времени, когда наступает периодическое стационарное состояние, показало, что для тонких стен (три слоя по 1мм) такое состояние с разницей в балансе в 4% достигается примерно через 24 час, а для трех слоев по 5мм уже только через 250 час. Т.е. тепловые потоки через наружную поверхность стены существенно зависят от тепловой инерционности стен и в принципе уже для обычных стен без теплозащиты стационарный периодический режим практически не имеет места.

Также видно, что суточные колебания потока излучения Солнца и температуры наружного воздуха на теплотери внутренней поверхности стены заметны и при наличии достаточно толстой изоляции в 10 см, конечно, с увеличением толщины теплоизоляции амплитуда колебаний температур и, соответственно, тепловых потоков становится меньше.

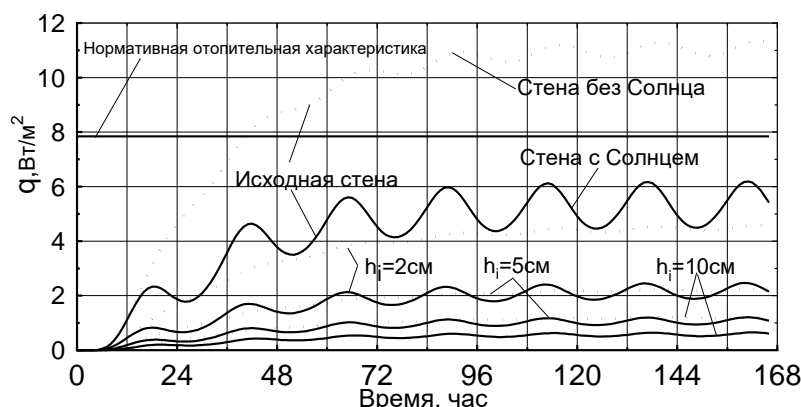


Рис.4. Плотности тепловых потерь через внутреннюю поверхность стены исходной и с теплоизоляцией различной толщины освещаемых и не освещаемых Солнцем (штриховые)

Можно отметить следующую особенность применения теплоизоляции, так с увеличением толщины теплоизоляции её эффективность, или отношение тепловых потерь стены с теплоизоляцией к теплотериям обычной стены, снижается. Например, для случая освещаемой исходной стены удельные мгновенные

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

теплопотери к 137 час. составляют около 6.17 Вт/м^2 , то для стены с наружной теплоизоляцией в 2 см около 2.47 Вт/м^2 , для 5 см, около 1.2 Вт/м^2 , для 10 см около 0.63 Вт/м^2 , или соответственно, уменьшение теплопотерь от исходного составит 60%, 80%, 89%. Т.е. если для 2 см теплоизоляции уменьшение теплопотерь составляет 60%, то увеличение толщины теплоизоляции с 2 см до 5 см приводит к дополнительному уменьшению теплопотерь только на 20%, а увеличение теплоизоляции до 10 см приводит к дальнейшему уменьшению теплопотерь только еще на 9%. Т.е. имеем технико-экономическую задачу при выборе параметров теплоизоляции.

Выводы. 1. Предложен метод расчета нестационарной теплопередачи через трехслойную стенку, отличающийся учетом не только конвективных тепловых потоков, но и падающих и собственного излучений, на основе этой методики разработаны алгоритм и программа численного решения задачи методом конечных разностей.

2. Показано, что простое суммирование потоков тепла конвекцией и излучением, особенно наружных поверхностей стен в виде суммарного коэффициента конвективной теплоотдачи не всегда правильно, и необходимо учитывать их знаки.

3. Характерным параметром, характеризующим тепловые потери зданий, представляется разность температур воздуха в помещении и внутренней поверхности стен.

4. При выборе параметров теплоизоляции желательно использование нестационарной модели, особенно при технико-экономической оптимизации параметров ограждающих конструкций зданий.

Литература

1. В.Н. Куприянов. Проектирование теплозащиты ограждающих конструкций. Казань, 2011, 163 с.
2. Руководство по теплотехническому расчету и проектированию ограждающих конструкций зданий. Москва, Стройиздат 1985, 141 с.
3. КМК 2.04.05-97. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Госкомархитектстрой РУз, Ташкент 2011. с 102-210.
4. Теплотехнический расчет ограждений. 13с. <https://allbeton.ru/upload/iblock/ab2/teplotehnicheskiy-raschet-ograjdayuschih-konstrukciy.pdf>.
5. СНКК 23-302-2000 (ТСН 23-319-2000 Краснодарского края). Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по теплозащите зданий. Краснодар. 2001. 46 с.
6. Пособие по проектированию новых энергосберегающих решений по строительной теплотехнике (к КМК 2.01.04-97*). ОАО "ToshuyjoyLITI". Ташкент – 2012. 71с.
7. Расчет и проектирование ограждающих конструкций зданий (Справочное пособие к СНиП). М. Стройиздат, 1990. 233с.
8. СНиП 23-02-2003. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Тепловая защита зданий.
9. А.Н. Шихов, Д.А. Шихов. Архитектурная и строительная физика: учеб. пособие Пермь: Изд-во: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 377 с.

10. О.Б. Демин. Физико - технические основы проектирования зданий и сооружений. Часть 2. Теплозащита зданий. Уч. пособие. Тамбов 2004, 48с.
11. Timoshenko V.P., Trenev M.G. Metod rascheta teplovykh rezhimov mnogoslojnykh polu-prozrachnykh materialov. Uchenye zapiski SAGI. Tom XVII, 1986 № 2, с 83-93.
12. А.К. Соколов, "Численно-аналитический метод расчета температурных полей многослойных пластин в начальной стадии нагрева", Известия Академии Наук, Энергетика, №1, стр. 138-151, 2009.
13. А.Д. Горбунов, С.В. Уклеина. "Расчет нестационарных температур и термических напряжений при вычислении коэффициента теплообмена, учитывающего излучение". Problemele energeticii regionale, vol. 1, no. 30, стр. 78-83, 2016.
14. Ш.И. Клычев, А. Султанов и др., "Однослойная шаровая нестационарная численная модель аккумулятора тепла солнечных установок", Межд. конф. «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», Ташкент, стр. 441-443, 2015.
15. Sh. Klychev, S A. Bakhramov, V. Kharchenko, V. Panchenko. Research of Heat Losses of Solar Collectors and Heat Accumulators. International Journal of Energy Optimization and Engineering Vol. 10, Issue 3, Jul-Sept 2021, pp 85-103.
16. Ш.И. Клычев, И.Г. Кенжаев, А. С. Багышев, С.А. Бахрамов, Д.Э. Кадыргулов. Тепловые потери трехслойного грунтового цилиндрического аккумулятора тепла солнечных установок. Гелиотехника. 2021. т 57, №6, с 689-694.
17. Временная методика расчета тепловых нагрузок и норм расхода топлива электроэнергии и воды на выработку тепловой энергии отопительными котельными. «Узкоммунхизмат», 5 декабря 2006 г. № 97, 71с.

*Представлено Научно-техническим центром с
конструкторским бюро и опытным производством
АН РУз и Ошским Государственным
университетом Республика Кыргызстан*

УДК 662.997÷ 621.47

**МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ДНЕВНОГО КОЛИЧЕСТВО НАКОПЛЕННОГО В
ЕМКОМ ПРИЕМНИКЕ ПОЛЕЗНОГО ТЕПЛА ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ
ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов, М.Т. Улуғмуродов, Б.Т. Шодиев

Мақолада қуёш нурланишини тубидан ютилувчи ва иссиқлик изоляция қилинган қуёшиш сув иситиш коллекторларининг хажмий қабул қилгичида тўпланган кунлик фойдали иссиқлик миқдорининг экспериментал тадқиқотлари натижаларини ва қайта ишлаш методикаси келтирилган. Келтирилган ифода ва тақдим қилинаётган қуёш коллекторларининг ҳарорат режими ва иссиқлик самарадорлигининг тўлиқ миқёсли шароитида қиёсий экспериментал тадқиқотлар натижалари горизонтал равишда меридионал йўналиш бўйлаб жойлашган, яъни коллекторлар текис асосининг узун ўқи шарқдан гарбга йўналтирилган. Маълумки, қуёш коллекторларини оқим орқали нурланиш қабул қилувчилари билан иссиқлик синов усуллари, хажмий қабул қилувчиларга нисбатан паст инерция туфайли, иккинчисини синаш учун қабул қилинмайди. Қуёш нурланишини тубидан қабул қилувчиларга эга бўлган қуёш коллекторида бу фойдали-ютилган ва қуёш нурлари энергиясининг паст потенциалли иссиқлигига айлантирилиши, кундузги соатларда тўпланиб, асосий экспериментал маълумотларнинг ўлчов натижаларини қайта ишлаш учун ўлчанган параметрларнинг ўртача кунлик (ёки кундузги маълум бир даврда ўртача) қийматлари ва тегишли иссиқлик хусусиятлари кўриб чиқилди.

В статье представлена методика обработки результатов экспериментальных исследований дневного количества накопленного в емком приемнике полезного тепла плоских солнечных водонагревательных коллекторов с донным поглощением солнечного излучения и теплоизолированными плоскими основаниями. Приведены расчетные выражение и результаты сравнительных экспериментальных исследований в натуральных условиях температурного режима и тепловой эффективности вышеуказанных солнечных коллекторов, расположенных горизонтально в меридиональном направлении по сторонам света, т.е. длинная ось плоского основания коллекторов направлена с востока на запад. Как известно, методы тепловых испытаний солнечных коллекторов с проточными приемниками излучения, из-за их малоинерционности по сравнению с коллекторами с емкими приемниками, не приемлемы для их испытания. В связи с тем, что, в солнечный коллектор с емкими приемниками полезно-поглощенное и преобразованное в низкопотенциальное тепло от энергии солнечного излучения накапливается в течение светового дня, для обработки результатов измерений основных экспериментальных данных нами усовершенствован и применен интегральный метод, основанный на использовании среднедневных (или усредненных за определенный промежуток времени светового дня) значений измеренных параметров и соответствующих теплотехнических характеристик.

The article presents a method for processing the results of experimental studies of the daily amount of useful heat accumulated in a capacious receiver of flat-plate solar water-heating collectors with bottom absorption of solar radiation and heat-insulated flat-plate bases. The calculated expression and the results of comparative experimental studies in full-scale conditions of the temperature regime and thermal efficiency of the above solar collectors located horizontally in the meridional direction along the cardinal directions, i.e. the long axis of the flat base of the collectors is directed from east to west. As it is known, the methods of thermal testing of solar collectors with flow-through radiation receivers, due to their low inertia compared to collectors with capacious receivers, are not acceptable for testing the latter. Due to the fact that, in a solar collector with capacious receivers, it is useful -the absorbed and converted into low-potential heat of solar radiation energy accumulates during daylight hours, for processing the measurement results of the main experimental data, we have improved and applied an integral method based on the use of average daily (or averaged over a certain period of daylight) values of the measured parameters and corresponding thermal characteristics.

На основе комплекса исследований по тепловому расчету плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК) с емкостными поглотителями солнечного излучения (ПСИ) и с донным поглощением солнечного излучения (СИ) и теплоизолированными плоскими основаниями нами разработаны и испытаны в натуральных условиях опытные образцы солнечных коллекторов рассматриваемого типа [1].

В целях выявления возможностей создания простых и дешевых солнечных водонагревательных коллекторов (СВК) из местных строительных материалов и использования их в сезонных системах горячего водоснабжения (СГВС) нами созданы и экспериментально исследованы в натуральных условиях опытные и опытно-производственные образцы ПСВК рассматриваемого типа. Опытные образцы ПСВК с донным поглощением СИ в количестве 2 шт., имеющие четырехугольную лотковую форму, габаритные размеры по наружным меркам: длина – 1,6 м; ширина – 0,8 м; фронтальная поверхность (включая фронтальные поверхности боковых стенок) 1,28 м².

Боковые стенки и дно коллекторов выполнены из строительного бетона и имеют толщину 0,1 м. Внутренние поверхности коллекторов защищены водонепроницаемым слоем из черного строительного битума.

Коллекторы установлены в горизонтальном расположении на Земле. Донные части коллекторов теплоизолированы от Земли камышитовой теплоизоляционной плитой, имеющую толщину 0,1 м.

Исследуемые коллекторы отличались тем, что в одной из них нагреваемая вода находится в полиэтиленовом контейнере, а в другом – находится в непосредственном контакте с окружающей средой, т.е. имеет открытую поверхность испарения.

Лучевоспринимающие поверхности коллекторов (в первом с полиэтиленовым мешком и во втором – с открытой поверхностью испарения) равны и составляют 0,84 м². Коллекторы установлены рядом друг с другом и в процессах исследований находились в одинаковых внешних условиях.

На рис. 1 представлена принципиальная схема составляющих теплового баланса плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК) с емкостными поглотителями, с донным поглощением солнечного излучения.

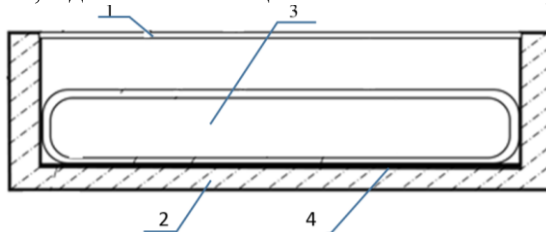


Рис.1. Принципиальная схема составляющих теплового баланса плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК) с емкостными поглотителями, с донным поглощением солнечного излучения: 1-верхняя светопрозрачная крышка, 2- корпус солнечного коллектора из строительного бетона, 3 – контейнер из светопрозрачного пластика, 4 – поглотитель солнечного излучения (зачерненное дно)

Методы тепловых испытаний солнечных коллекторов с проточными приемниками излучения [2,3-12], из-за их малоинерционности по сравнению с коллекторами с емкими приемниками, не приемлемы для испытания последних. В связи с тем, что, в солнечный коллектор (СК) с емкими приемниками полезно-поглощенное и преобразованное в низкопотенциальное тепло энергии СИ накапливается в течение светового дня, для обработки результатов измерений основных экспериментальных данных нами усовершенствован и применен интегральный метод, основанный на использовании среднедневных (или усредненных за определенный промежуток времени светового дня) значений измеренных параметров и соответствующих теплотехнических характеристик.

В связи с тем, что количество нагреваемой в коллекторах воды в течение дня постоянно, т.е. в период одного цикла экспериментов дневной забор горячей воды из коллекторов не производится, дневное количество накопленного в емком приемнике полезного тепла ($Q_{пол}^{nad}$) может определяться по начальной ($t_{вг}$) и конечной ($t_{вк}$) температурой воды в исследуемых коллекторах, т.е.

$$Q_{пол}^{dn} = V_{вн} \rho_{в} c_{пв} (t_{вк} - t_{вг}), \quad (1)$$

или с учетом, что $V = \delta_e F_{фр}$, (2)

и $\rho_{в} = 1000 \text{ кг/м}^3$ и $c_{пв} = 4,1868 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$ выражение (1) примет вид

$$Q_{пол}^{dn} = 4186,8 \delta_e F_{фр}. \quad (3)$$

Значение среднедневной тепловой эффективности или КПД коллектора рассматриваемого типа определяется из известного отношения

$$\eta = \frac{Q_{пол}^{dn}}{Q_{пад}^{dn}}, \quad (4)$$

$$\text{С учетом значений } Q_{пол}^{\partial n} \text{ и } Q_{над}^{\partial n} = Q_{над}^{\partial n} \cdot F_{фр} \quad (5)$$

отношение (4) может быть представлено в виде

$$\eta = \frac{4186,8 \delta_{\Sigma} \cdot K_{зан}}{Q_{над}^{\partial n}}, \quad (6)$$

$$\text{где} \quad K_{зан} = \frac{F_{mn}}{F_{фр}} \quad (7)$$

- коэффициент заполнения коллектора рассматриваемого типа.

Если среднее (за указанный промежуток времени светового дня) значение температуры нагреваемой в рассматриваемых коллекторах воды $\bar{t}_{\theta_{9-16}}$ определит как среднеарифметические между t_{θ_9} и $t_{\theta_{16}}$, т.е.

$$\bar{t}_{\theta_{9-16}} = 0,5(t_{\theta_9} + t_{\theta_{16}}), \quad (8)$$

то проставляется возможным построить графическую зависимость их тепловой эффективности ($\bar{t}_{\theta_{9-16}}$) от параметра $\left(\frac{\bar{t}_{\theta} - \bar{t}_o}{\frac{-\Sigma}{Q_{над}}}\right)_{9-16}$, которая позволяет сооб-

щить и сопоставить результаты опытов в различных погодных условиях в зависимости от расположения и ориентации по сторонам света исследуемых коллекторов, наличия и отсутствия тепловой изоляции на их плоских основаниях.

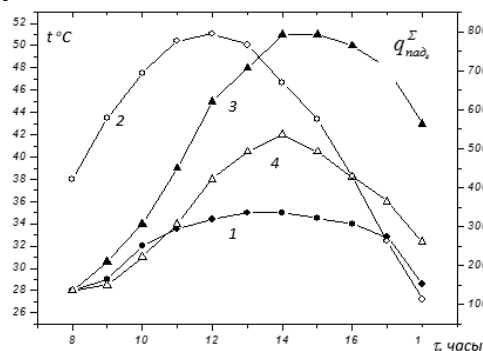


Рис.2. Результаты сравнительных исследований коллекторов: 1-температура окружающей среды; 2- поверхностная плотность потока суммарного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность земли; 3- температура воды в коллекторе с полиэтиленовым мешком; 4-температура воды в коллекторе с открытой поверхностью испарения

Количество заливаемой в коллектор воды составлял 50 л при температуре 26°C. Как следует из анализа результатов измерений, максимальные температуры нагреваемой в коллекторах воды приходится к 14 час. дня и составляют, соответственно 51°C в коллекторе, в котором нагреваемая вода находится в полиэтиленовом мешке, и 42°C в коллекторе имеющего открытую поверхность испарения воды. Максимальное значение температуры окружающей среды в это время составляет 35°C. Из анализа результатов экспериментов также следует, что благодаря защите поверхности нагреваемой воды полиэтиленовой пленкой,

температура теплой воды в коллекторе с полиэтиленовым мешком к 14 ч дня выше на 9°C , чем у коллектора с открытой поверхностью испарения.

Как показали результаты измерения объема забираемой из коллекторов теплой воды, к концу дня (18 ч вечера) потери воды в коллекторе с открытой поверхностью испарения составляют 5 л (рис.2.). Расчеты по представленной методике сходятся с данными по обработке результатов экспериментальных исследований дневного количества накопленного в емком приемнике полезного тепла плоских солнечных водонагревательных коллекторов с донным поглощением солнечного излучения и теплоизолированными плоскими основаниями.

Литература

1. Аvezова Н.Р., Касимов Ф.Ш., Ниязов Ш.К. Экспериментальное исследование теплопроизводительности и тепловой эффективности солнечных абсорбционных емких водонагревательных коллекторов, изготовленных из местных материалов // Гелиотехника. 2010. №4. С.25-28.
2. Solar Collector Testing Programme/ Commission of the European Communities. Luxemburg. 1982. pp. 1-17.
3. Gillett W. B. The equivalence of outdoor and mixed indoor / outdoor solar collectors testing // Solar Energy. 1980. V. 25. №6. pp.543-548.
4. Hill J.E., Streed E.R. A method of testing for rating solar collectors based on thermal performance // Solar Energy. 1976. V. 18. №5.с. 421-429.
5. SRAE standart 93-77. Method of testing solar collectors based on thermal performance. New York, American. Of Heating Refrigerating and Air-Conditions Engineers. 1977. 65 p.
6. AFNOR p 50 501. Capters solaries. Measure des performances thermiques. Paris. L Association de Normalisation. 1977. 59 p.
7. Фрид С. Е. Методы тепловых испытаний солнечных коллекторов // Препринт № 3-248 ИВТАН. М., 1988.57с.
8. N. R. Avezova, R. R. Avezov, N. T. Rustamov, A. Vakhidov, Sh. I. Sul-eymanov. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water supply systems: 4. Specific collector thermal yield and efficiency. // Applied Solar Energy. 2013. V. 49. pp. 202–210.
9. ҚМҚ 2.04.16-2018 Қуёшли иссиқ сув таъминоти қурилмалари. Ўзбекистон Республикаси Қурилиш вазирлиги. Тошкент. 2018. 32 б.
10. ГОСТ Р 51595-2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия – Россия, Госстандарт России. Введен в действие с 1.01.2001 года, 8 стр.
11. Osório T., Carvalho M.J. Testing of solar thermal collectors under transient conditions // SHC 2012. Energy Procedia. 2012. V. 30. pp. 1344 – 1353.
12. Klein S.A. Calculation of flat-plate collector loss coefficients. Journal of Solar Energy. 1975. V. 17. № 1. pp. 79-80.

*Представлено Физико-техническим институтом
Академии наук Республики Узбекистан и
Национальным научно-исследовательским
институтом возобновляемых источников энергии*

УДК 620.9

**ЎРНАТИЛГАН ҚУВВАТИ 20 КВТ БЎЛГАН ФОТОЭЛЕКТРИК
СТАНЦИЯ МАҲАЛЛИЙ ЭЛЕКТР ТАРМОҚ БИЛАН ПАРАЛЛЕЛ
ИШЛАГАНДА УЛАНИШ НУҚТАСИДАГИ КУЧЛАНИШ ВА ТОК КУЧИ
ГАРМОНИКАЛАРИНИНГ ТАДҚИҚИ**

**Н.А. Матчанов, А.А. Мирзаев, Ғ.Х. Хасанов, Ф.Ф. Содиқов,
А. Р. Худайназаров**

Ушбу мақолада қуввати 20 кВт бўлган фотоэлектрик станция маҳаллий электр тармоқ билан «on-grid» режимда паралель ишлаганда станциянинг электр тармоғига уланиш нуқтасидаги параметрлари тадқиқи натижалари келтирилган. On-grid иш режимидаги ФЭС электр тармоқ билан ишлаганда инвертордан узатилаётган сигнални гармоник кўрсаткичлари стандартларда кўрсатилган диапазонда ётиши ва электр тармоқ гармоник кўрсаткичларига салбий таъсир кўрсатмаслиги аниқланди. Бунда хафли саналган 3,5 ва 7-кучланиш гармоникаларида кучланиш миқдори ўрта қийматда 1.1 В га ўзгариши аниқланди. Электр тармоқдаги кучланиш умумий гармоник бузилиши $THD_U = 2.20\%$ дан $THD_U = 1.51\%$ гача ва ток умумий гармоник бузилишини $THD_I = 1.72\%$ дан $THD_I = 1.29\%$ гача пасайиши кузатилди.

В настоящей работе представлены результаты исследования параметров в точке подключения фотоэлектрической станции мощностью 20 кВт к локальной электрической сети в режиме “on-grid”. Показано, что при работе ФЭС в режиме работы “on-grid” параллельно с электрической сетью, гармонические параметры сигнала, передаваемого от инвертора, лежат в пределах, указанных в стандартах, и не превышают допустимых значений. Обнаружено изменение средних значений напряжений гармоник на 3,5 и 7-й гармониках на 1,1 В. Установлено, что, общее гармоническое искажение напряжения в электрической сети снизилось с $THD_U = 2,20\%$ до $THD_U = 1,51\%$, а общее гармоническое искажение тока снизилось с $THD_I = 1,72\%$ до $THD_I = 1,29\%$.

This paper presents the results of a study of the parameters at the point of connection of a photovoltaic station with a power of 20 kW to the local electrical network in the “on-grid” mode. It is shown that when the photovoltaic station operates in the “on-grid” operating mode in parallel with the electrical network, the harmonic parameters of the signal transmitted from the inverter lie within the limits specified in the standards and do not exceed the permissible values. It was found that the change in the average values of harmonic voltages at the 3,5th and 7th harmonics by 1.1 V. It was found that the total voltage harmonic distortion in the electrical network decreased from $THD_U = 2.20\%$ to $THD_U = 1.51\%$, and the total current harmonic distortion decreased from $THD_I = 1.72\%$ to $THD_I = 1.29\%$.

Кириш: Куёшдан хавфсиз ва тоза энергия манбаи сифатида фотоэлектрик станциялардан (ФЭС) фойдаланиш тез суръатлар билан ўсиб бормоқда. Хусусан

АЛТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

«Халқаро Қайта Тикланувчи Энергия Манбалари Агентлиги» нинг (IRENA) 2021-йилдаги хисоботида кўра қайта тикланадиган энергия манбалари (ҚТЭМ) асосидаги электр станцияларининг умумий қуввати 3000 ГВт дан ошди ва уларнинг жаҳон энергетика тизимининг умумий ўрнатилган қувватидаги улуши бир йил давомида (2020-2021йил) 36,6 фоиздан 38,3 фоизга ошди. Агентлик маълумотларига кўра, 2021 йилда ҚТЭМ ишлаб чиқариш қувватлари улуши 81% ошди. Агентликнинг 2022 йилдаги прогнозига асосан дунё микёсда қайта тикланадиган электр энергия манбалари қуввати 2022 ва 2026 йиллар оралиғида 60 фоиздан ошиб, 4800 ГВт дан кўпроққа етиши айтилмоқда. Давлатлар миқёсида олинса, Хитой кейинги беш йил ичида етакчи бўлиб қолмоқда, бу жаҳон қайта тикланадиган энергия манбалари ўсишининг 43% ни ташкил этади, ундан кейин Европа, АҚШ ва Ҳиндистон. Ушбу тўртта бозорнинг ўзи бутун дунё бўйлаб қайта тикланадиган энергия манбаларини 80% га ривожлантирмоқда [1, 2].

Энергия тизимларида фотоэлектрик тизимларини қўллаш иккита асосий соҳага бўлиниши мумкин: тармоқдан ташқари (Off-grid) ёки тармоққа уланган (On-grid) тизимлар. Off-grid фотоэлектрик тизимлари электр тармоқларига уланиш имкони бўлмаган истеъмолчиларни қувват билан таъминлаш учун ишлатилиши мумкин, On-grid тизимлар эса маҳаллий истеъмолчиларни энергия билан таъминлаш ва электр тармоқлари билан қувват алмашинуви учун ишлатилади. ФЭС ларнинг кучланиш режимини яхшилаш ва тарқатиш фидерларининг энергия йўқотишларини, техник хизмат кўрсатиш харажатларини ва тармоқдаги истеъмол энг юқори вақтларда, қувват истеъмолини қоплаш орқали энергия тизимларининг (қувват етишмаслиги, кучланиш тушуви, гармоник бузилишлар) ишлашини яхшилаш мумкин [1, 3].

Бугунги кунда Ўзбекистон Республикаси ҳукумати томонидан 2026 йилга қадар 5000 МВт қувватли ФЭС ва 3000 МВт қувватли шамол электр станцияларини қуриш режалаштирилмоқда. Изланишлар давомида, моделлаштириш натижалари шуни кўрсатдики, Ўзбекистондаги ўртача 5 ГВт қувватли ФЭС йилига 9.9 миллиард кВт*соат электр энергияси ишлаб чиқаради. Замонавий газ билан ишлайдиган электр станциялари 1 кВт электр энергиясини ишлаб чиқариш учун тахминан 0,23-0,35 м³/соат ёқилғи сарфлайди. Бунда, табиий газнинг солиштирма иқтисоди йилига 3,465 млрд. м³ни ташкил қилади. Мавжуд маълумотларга кўра, 2019 йилда, Хитой Ўзбекистонга минг м³ табиий газ учун 182,25 АҚШ доллари (ёки 1 м³ учун 0.18225 АҚШ долл) миқдорида пул тўлаган. Бу ҳолда, 5 ГВт қувватли ФЭС мамлакат учун бир йилда 3,465 млрд. м³ * 0.18225 = 631.5 млн. АҚШ долл. миқдоридаги маблағни тежаш имконини беради. Фотоэлектрик тизимлар ишлаб чиқарилган ҳар бир кВт*соат энергияга 0,62 кг СО₂ чиқишини тежайди. Ушбу маълумотни ҳисобга олган ҳолда, 5 ГВт ФЭС бир йилда 3,465 млрд. м³ табиий газ ёниши натижасида атмосферага 9,9 млрд. (кВт·соат)·0,62 кг/(кВт·соат) = 6,138 млн. т. СО₂ чиқишини олдини олади.

Ўз навбатида бундай катта ҳажмдаги ностабиль ҚТЭМларга асосланган йирик электр станцияларини қуриш ва уларни марказий электр тармоқларига интеграциялаш Ўзбекистон энергетика тизимининг қўшма режимлари ва барқарорлигини таҳлил қилиш, тармоқ ускуналарини модернизация қилиш,

замонавий энергия сақлаш тизимларини жорий этиш ва реактив қувватни компенсация қилиш бўйича катта ҳажмли тадқиқот ишларини талаб қилади.

Умумий энергия тизимига қайта тикланувчи энергия манбалари асосида энергия генерация қилувчи гибрид тизимларни улаш ва уларни бошқаришни бир қанча методлари яъни ортиқча энергияни электр тармоғига узатиш, юкламаларни ўзгариши, энергия захиралаш, кабилар ўрганилган [4]. Маҳаллий электр тармоғи (МЭТ)га кичик қувватдаги ФЭСларни улашдаги яна бир электр сифат параметри кучланиш оғиши бўлиб, бу кўрсаткич электр тармоқлари учун умумий олганда номинал кучланишнинг 5 % ни ташкил этиши керак [5]. Фотоэлектрик тизимларни тармоққа улашда юзага келувчи электр энергия сифатига таъсир этувчи бир қанча муаммолар (ток ва кучланиш гармоникалари бузилиши, актив ва реактив қувватларнинг ошиб кетиши) [6, 7] сабабли уларни тармоққа улаш, ҳамда тармоқдаги сифат кўрсаткичлари ток ҳамда кучланишдаги ўзгаришларни ўрганиш, таҳлил қилиш каби вазифалар олиб борилиши зарур. Фотоэлектрик тизимларни марказий электр тарқатиш тармоғига кенг қўламли интеграциялаш учун бошқарув мосламаларининг мустаҳкам тизими, конвертация ускуналари ва ҳимоя тизимлари керак. Ушбу тизимларда ночизиқли истемолчиларнинг ортиши билан гармоник бузилиш даражаси ортади [8]. Фотоэлектрик тизимининг кучланишининг ёки ток кучининг тўлқин шакли барча гармоник компонентларининг йиғиндиси яъни умумий гармоник бузилиш (Total Harmonic Distortion THD) сифатида аниқланади. THD нинг юқори қийматининг мавжудлиги қувват сифати ёмонлигининг асосий кўрсаткичларидан биридир. [9-10-11].

Ушбу [12] ишда инверторларнинг актив ва реактив қувватлари истеъмо қилиш ва МЭТга узатиши жараёнлари тадқиқ этилган бўлиб инверторларнинг актив қувватлари номинал қийматга етганида THD нинг қиймати сезиларли даражада пасайиши аниқланган.

ЎзР Наманган вилояти Поп туманида ўрнатилган қуввати 130 кВт бўлган ФЭСнинг электр энергия ишлаб чиқариш кўрсаткичлари ўрганилган, аммо ФЭСнинг тармоққа уланганда тармоқ учун таъсир қилувчи гармоникалардаги ўзгаришлар етарлича ўрганилмаган [13]. ЎзР даги [13, 14] ишда 9 кВтли ФЭСнинг кучланиш ва частота ўзгаришлари таҳлил қилинган. Лекин актив ва реактив қувватлар, айниқса кучланишлар ўзгаришига боғлиқ бўлган умумий гармоник бузилишлар масалаларига етарлича ўрганилмаган.

Ишнинг мақсади. Ушбу ишнинг мақсади МЭТга уланган ФЭСларнинг электр энергия сифат кўрсаткичларидан бири бўлган гармоник спектрларни таҳлил қилишдан иборат.

Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий тадқиқот институти (ҚТЭМ МИТИ) ҳудудида ўрнатилган қуввати 20 кВт бўлган электр тармоққа уланган фотоэлектрик станция параметрларини ўрганиш. ФЭС маҳаллий электр тармоқ билан паралелл ҳолда ишлаганда электр тармоқ параметрларидаги гармоник ўзгаришларини тадқиқ қилиш.

МЭТдан ФЭСни ажратган ҳолда электр энергия сифат кўрсаткичларини ҳалқаро стандартларга асосан ўлчаш зарур [5]. Эксперимент объекти сифатида Тошкент шаҳридаги ҚТЭМ МИТИ ҳудудида ўрнатилган қуввати 20 кВт бўлган электр тармоққа уланган On-grid иш режимидаги ФЭС танлаб олинди.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Қуёш ФЭС фотоэлектрик модулларнинг чиқиш параметрларини ўлчаш учун PROVA-210 ва ФЭС чиқиш параметрларини Solmetric PV Analyzer-1000S ўлчаш асбобларидан ҳамда МЭТ энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш учун Fluke ScoreMeter 190-104/S оциллографидан фойдаланилди [15, 16,17].

1-жадвал

МЭТга уланган ФЭСнинг техник кўрсаткичлари ва таркиби

Қуёш панели Greensun Solar GSM410-72/PR	Монокристал 410 Вт 45 дона
Инвертор Sofar solar 20 кВт	1 дона
Қуввати	20 кВт
АС кириш кучланиши	380В ± 15%
АС чиқиш кучланиши	380 ± 15%
Тармоқ частотаси	50 Гц ± 5%
Чиқиш кучланиши	DC 200 ~ 1000В
Чиқиш токи	0 ~ 250А
Чиқиш кучланиш аниқлиги	≤ ± 0,5%
ФИК	≥95%

Ўлчаш усуллари ва тажрибалар. Тўғри усулни танлаш энергия сифатини назорат қилиш ва мониторинг қилиш жараёнида асосий вазифалардан бири бўлиб қолмоқда. Электр энергиясини бошқариш усуллари ўрганиш устида бир қанча олимлар ишлаган [18,19,20,21]. Бундан ташқари, электр энергияси сифатини назорат қилиш усуллари таснифлашнинг батафсил тавсифи [19]да берилган.

Энергия сифатини назорат қилиш усуллари асосан 4 синфга бўлинади [19].

1. Носинусоидалликни назорат қилиш усуллари;
2. Частотани тартибга солиш усуллари;
3. Амплитудани бошқариш усуллари;
4. Симметрикликни бошқариш усуллари.

Бундан ташқари энергия тизимларида кучланиш ва ток гармоник спектрларини таҳлил қилиш ёрдамида спектрал таҳлил усули ҳали ҳам кенг қўлланилади.

Спектрал таҳлил усилдан фойдаланилганда кучланиш ҳамда ток кучи гармоникаларининг умумий (3) ва ўзига (1 ва 2) хос гармоник ўзгаришлари қуйидаги тенгламалар орқали аниқланади:

$$U_h(\%) = 100 \cdot \frac{U_h}{U_1} \quad (1) \quad I_h(\%) = 100 \cdot \frac{I_h}{I_1} \quad (2)$$

бу ерда: U_h / I_h – тадқиқ этилаётган гармоникаларнинг ток ва кучланиши, U_1 / I_1 – асосий гармониканинг ток ва кучланиши

Умумий гармоник бузилишларни 3-тенгламадан аниқланади:

$$THD_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{40} v_f^2}{v_f^2}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Спектрал таҳлил ток ва кучланишдаги ўзгаришларни эмас, балки спектрдаги ўзгаришларни ҳисобга олади. Маълумки, чизиқли занжирнинг синусоидал сигналнинг таъсирига жавоби бу сигналнинг амплитудаси ва бошланғич фазасини ўзгартиришдан иборат. Ўчириш параметрлари частотага

боғлиқ бўлганлиги сабабли, бу ўзгаришлар ҳам частотанинг функциясидир. Ушбу ишда спектрал таҳлил усулидан фойдаланилди.

Қуёш ФЭС фотоэлектрик модулларнинг чиқиш параметрларини (кучланиш, ток кучи,..) ўлчаш методика асосида PROVA-210 қурилмасини қўллаган ҳолда амалга оширилди[5,15].

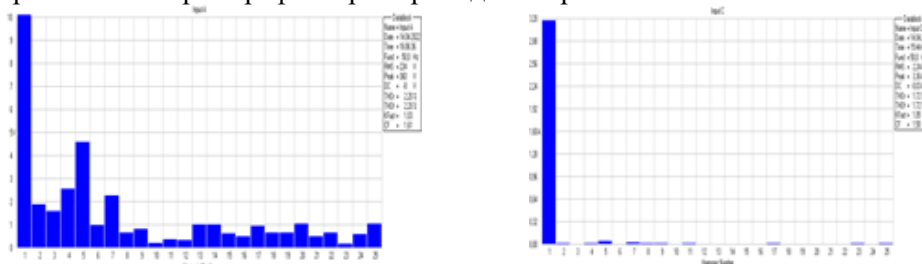
ФЭСнинг чиқиш параметрларини ўлчаш (кучланиш, ток кучи, ..) да келтирилган методикани қўллаб Солметрик ўлчаш қурилмасини ишлатиб амалга оширилди[16].

МЭТ энергия сифат кўрсаткичларини (кучланиш, ток кучи, частотаси, гармониклар,..) ўлчашда кўрсатилган усуллардан фойдаланилган ҳолда Fluke ScoreMeter 190-104/S спектрометрдан ёрдамида амалга оширилди [17,18,19].

Кучланиш ва ток кучи гармоникалари спектрал таркиби [18] ишда келтирилган методикани қўллаган ҳолда таҳлил қилинди.

ФЭСни МЭТга улашдан олдин электр тармоқнинг уланиш нуқтасидаги гармоник кўрсаткичлари.

Эксперимент ўтказилган 3 фаза нейтрал билан тармоқ дастлаб нормал шароитда ҳақиқий юкламаси билан текширилди. Олинган кучланиш ҳамда ток гармоник спектрал графиклари 1-расмда келтирилган.



1-расм МЭТ нинг кучланиш (ўнгда) ва ток кучи(чапда) спектрлари

Ўлчанаётган МЭТнинг ўлчов нуқтаси электр тармоқнинг қувват манбаидан 65 метр узоқликда олинди. Ўлчанаётган МЭТнинг умумий гармоник спектрлари 2-расмда келтирилган.

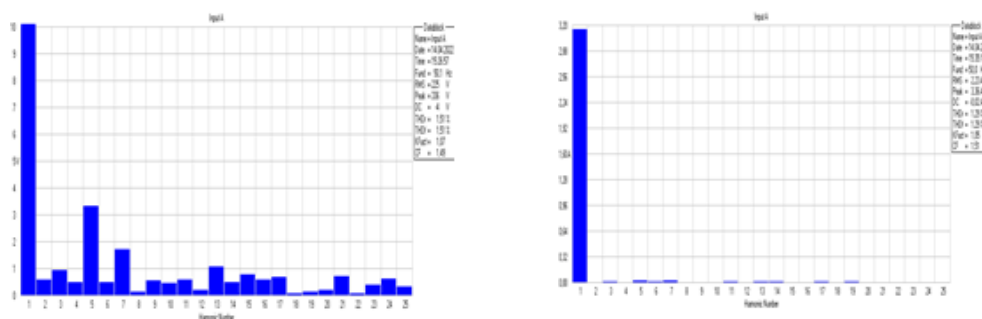


Расм 2. Гармоник кучланиш (барча фазаларда)

ФЭСни МЭТГа улагандан кейин электр тармоқнинг улаиш нуқтасидаги гармоник кўрсаткичлари.

Қуёш фотоэлектрик станциялари одатда электр тармоққа инверторлар орқали уланади, ва тармоқ гармоникаларига таъсир ўтказиш ва гармоник бузилишларни юзага келтиришда инверторлар муҳим рол ўйнайди. Бунинг сабаби шундаки, яримўтказгичли қурилмалар инверторнинг асосий компонентлари ҳисобланади ва шунинг учун унинг туридан қатъий назар, ушбу элементга кўпроқ эътибор берилиши керак.

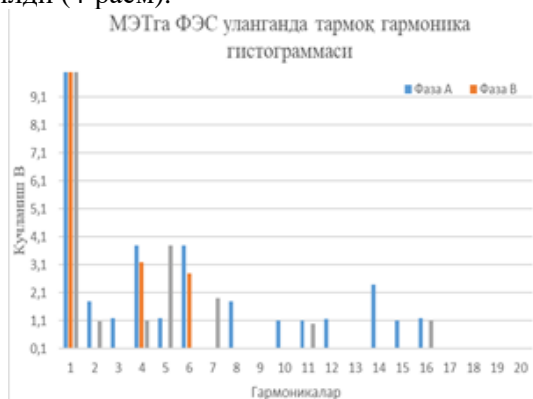
Аммо бугунги кунда замонавий илм фаннинг ривожланиши натижасида тармоқ сифатига таъсир доирасини минималлаштирган ҳолда фотоэлектрик тизимлари учун инверторлар ишлаб чиқилмоқда. Ўрганилаётган ФЭСни маҳаллий электр тармоғига улангандан кейинги кучланиш ва ток кучи спектрлари 3-расмда келтирилган.



3-расм. МЭТГа ФЭС улангандан кейинги кучланиш (ўнгда) ва ток кучи (чапда) спектрлари

Ушбу [22] ишда қуввати 20 кВт бўлган 3 фазали инверторнинг электр энергия параметрлари текширилган ҳамда бу параметрлар; кучланиш, частота, қувват омили, милтиллаш ва ТНДнинг миқдори ҳаммаси IEEE-929-2000 томонидан тавсия етилган стандарт чегаралар ичида эканлиги аниқланган.

Шундай инверторлардан бирининг қуввати 20 кВтли фотоэлектрик тизим таркибида ўрнатилган. Инвертор МЭТГа уланди ҳамда гармоник кўрсаткичлари ва динамикаси ўрганилди (4-расм).



Расм 4. МЭТГа ФЭС улангандаги гармоник кучланиш (барча фазаларда)

2-жадвалда ФЭСнинг МЭТ билан параллел ишлаш вақтида фазалардаги гармоник қийматларнинг ўзгаришлари спектрал гармоник таҳлил асосида келтирилган. Натижаларга кўра МЭТда ФЭСбилан параллел ишлаш даврида гармоник кўрсаткичлар кучланиш гармоникалари пасайиши, ток кучи гармоникалари сезиларли даражада ўзгармаганлиги кузатилди.

2-жадвал

ФЭСнинг МЭТ билан параллел ишлаши вақтида фазалардаги гармоник қийматларнинг ўзгаришлари

№	Фаза А		Фаза В		Фаза С	
	МЭТ В	ФЭС билан В	МЭТ В	ФЭС билан В	МЭТ В	ФЭС билан В
1	368	362.32	365,55	363,58	360,74	368,26
2	1.9	1.8	1.2	<1	<1	1,06
3	1.8	<1	1.2	<1	<1	<1
4	2.7	1.2	<1	<1	1.3	1.1
5	4.8	3.8	3.6	3.2	4.4	3.8
6	1	<1	0,19	<1	<1	<1
7	2.2	1.8	2.8	2.8	2.8	1.9
8	<1	<1	<1	<1	<1	<1
9	<1	1.1	<1	<1	<1	<1
10	<1	1.1	<1	<1	<1	<1
11	<1	1.15	<1	<1	<1	1.0
12	<1	<1	<1	<1	<1	<1
13	1.1	2.4	<1	<1	<1	<1
14	1.02	1.1	<1	<1	<1	<1
15	<1	1.2	<1	<1	<1	<1
16	<1	<1	<1	<1	<1	1.1
17	<1	<1	<1	<1	<1	<1
18	<1	<1	<1	<1	<1	<1
19	<1	<1	<1	<1	<1	<1
20	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Бизнинг фикримизча ФЭС генерацияси ҳисобига тармоқда қувватларни ошиши ҳамда кучланишлар стабиллашувига эришилиши туфайли гармоникаларнинг қиймати пасайиши юзага келган.

Хулоса. ҚТЭМ МИТИ худудида ўрнатилган қуввати 20 кВт бўлган on-grid иш режимидаги фотоэлектрик станцияси маҳаллий электр тармоқ билан параллел ишлагандаги ФЭСнинг МЭТга уланган нуқтадаги параметрлари тадқиқ қилинди. Экспериментал тадқиқотлар натижасида on-grid иш режимидаги ФЭС электр тармоқ билан параллел ишлаганда инвертордан узатилаётган сигнални гармоник кўрсаткичлари [5] стандартда кўрсатилган диапазонда ётиши ва электр тармоқ гармоник кўрсаткичларига салбий таъсир кўрсатмаслиги аниқланди. Бунда хавфли саналган 3,5 ва 7-кучланиш гармоникаларида кучланиш миқдори ўрта қийматда 1.1 В га ўзгариши аниқланди. Электр тармоқдаги кучланиш умумий гармоник бузилиши $THD_U = 2.20\%$ дан $THD_U=1.51\%$ гача ва ток

умумий гармоник бузилишини $THD_1 = 1.72\%$ дан $THD_1 = 1.29\%$ гача пасайиши кузатилди.

Адабиётлар

1. Ayaz A. Khamisani. Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered System (A Case Study of Solar Powered Bus Shelter).
2. <https://www.iea.org/news/renewable-electricity-growth-is-accelerating-faster-than-ever-worldwide-supporting-the-emergence-of-the-new-global-energy-economy>
3. Omran, W.A., M. Kazerani, and M.M.A. Salama. A study of the impacts of power fluctuations generated from large PV systems. in IEEE PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy (SAE), 2009. 1-6.
4. Р.А. Захидов. А.Ш. Арифжанов. Управление подключением распределённых генераторов на базе возобновляемых источников энергии в общую энергосистему. Часть 2. /Гелиотехника.2017. – №2, – стр. 58–66.
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144—2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
6. Effective Power quality improvement using Dynamic Activate compensation system with Renewable grid interfaced sources. Ritesh Dash, Sarat Chandra Swaiw. School of Electrical Engineering, KIIT University, Bhubaneswar, Odisha 751024, India
7. Power quality analysis of a large grid-tied solar photovoltaic system. Abdullah Ali Alhussainy and Thamar Saad Alquthami. Advances in Mechanical Engineering 2020, Vol. 12, Issue 7, pp.1–14.
8. R. A. Messenger and J. Ventre, “Photovoltaic system engineering, second edition”, Boca Rota, 2004.
9. Masoud FARHOODNEA1, Azah MOHAMED1, Hussain SHAREEF1, Hadi ZAYANDEHROODI. Power Quality Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems in Distribution Networks PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 2a/2013, pp. 208–213
10. F. Batrinu, G. Chicco, J. Schlabbach and F. Spertino, “Impacts of grid-connected photovoltaic plant operation on the harmonic distortion”, IEEE Electro technical Conf, MELECON pp.861-864, 2006.
11. P. P. Dash and A. Yazdani, “A Mathematical Model and Performance Evaluation of a Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic (PV) System”, International Journal of Emerging Electrical Power Systems, Vol. 9, Issue 6, 2008.
12. K.P.Kontogiannis, G.A.Vokas, S. Nanou, S. Papathanassiou. Power Quality Field Measurements on PV Inverters. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 2, Issue 11, November 2013. pp. 5301-5314.
13. Матчанов Н. А. Комплексное исследование фотоэнергетических систем и их интеграции к электрической сети. ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени доктора (Doctor of Science) технических наук. 2020.
14. Матчанов Н.А., Тураев А.И., Мирзаев А.А., Эгамов С.Р. Влияние on-grid ФЭС мощностью 9 кВт на параметры локальной сети (0.4 кВ) / Проблемы энерго- и ресурсосбережения, – Ташкент, 2019, №1-2, – с.191-198. (01.00.00. №7).

15. https://www.prova.com.tw/product/ Application_detail.asp?seq=37.
16. <https://www.solmetric.com/pva-analysis-macro.html>.
17. <https://www.fluke.com/en-us/product/electrical-testing/portable-oscilloscopes/190-series-ii/fluke-190-ii-190-104-s>.
18. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30804.4.30- 2013. Методы измерений показателей качества электрической энергии. стр-34-39.
19. Чижма С.Н. Совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощности в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.02. Омск, 2014. 367 с.
20. Ершов С.В., Шалимов Д.В. Методы и средства контроля нелинейных искажений в электрических сетях // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 12. С. 88–92.
21. Артющенко В.М., Аббасова Т.С. On-line расчет показателей качества электроэнергии // Мир транспорта. 2013. № 2. С. 18–23.
22. Edison Banguero, Andrés Julián Aristizábal and William Murillo. A Verification Study For Grid-Connected 20 Kw Solar Pv System Operating In Chocó, Colombia. 4th International Conference on Power and Energy Systems Engineering, CPESSE 2017, 25-29 September 2017, Berlin, Germany. pp. 96-101.

*Қайта тикланувчи энергия манбалари
миллий илмий-тадқиқот институти
томонидан тақдим этилган*

УДК 697.329÷725.745

**К ВОПРОСУ ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ ОБОГРЕВА
ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ**

А.У. Вохидов, З.Дж. Арзиев, М.Б. Шерматова

Yildan-yilga energiya tejaydigan va samarali texnologiyalarga ehtiyoj ortib bormoqda. Ushbu holatning sabablaridan biri yer yarim sharidagi iqlim o'zgarishi bo'lishi mumkin va bu hodisa tabiat va insoniyat o'rtasidagi muvozanatni buzadi: ba'zi joylarda yog'ingarchilik ko'payadi, hamda ba'zi joylarda qurg'oqchilik kuchayadi. Bu, ayniqsa, O'zbekiston shimolida kuchli cho'llanish shaklida namoyon bo'lmoqda. Hozirgi vaqtda atmosferaga issiqxona gazlarini sezilarli darajada kamaytirishga yordam beradigan qayta tiklanadigan energiya manbalariga asoslangan mavjud va yangi energiya komplekslaridan oqilona foydalanishga e'tibor qaratilmoqda, ular tarkibiga quyoshiy energetik qurilmalar va tizimlar ham kiradi. So'nggi yillarda yer yuzida kuzatilgan iqlim o'zgarishining oldini olish va tabiiy energiya resurslaridan oqilona foydalanish bo'yicha muhim qadamlardan biri shuni ko'rsatadiki, talab qilinadigan sharoit va ehtiyoj ekologik muvozanatni sezilarli darajada kamaytiradi. Bunga misol sifatida isitish uchun yoqilg'i-energetika resurslari sarflanadigan suzish havzalari tanlandi. Ushbu maqolada suzish havzalarini isitish uchun resurslarni tejashga qaratilgan dastlabki tadqiqotlar o'tkazildi va hisobiy tadqiqotlar natijasida ko'rib chiqilayotgan hovzalarda kerakli haroratni saqlab turish uchun tabiiy gaz oqimining miqdoriy ko'rsatkichlari aniqlandi. Tadqiqot ob'ekti sifatida qaraladigan hovuzni isitishda energiya va resurslarni tejashga erishish uchun quyosh energiyasidan maksimal darajada foydalanish samaradorligi ham ko'rsatilgan. Shu bilan birga, ma'lum bir haroratgacha qizdirish uchun zarur bo'lgan gaz miqdori hisoblab chiqilgan, shuningdek o'rtacha haroratni ushlab turish uchun zaruriy quvvat aniqlangan va mavjud ma'lumotlar bilan taqqoslash amalga oshirilgan.

Одной из причин такого явления может служить изменение климата в Земом и это явление нарушает баланс: в одних местах выпадает большое количество осадков, а в других увеличивается засуха. Это проявляется в виде сильного опустынивания, особенно, на территории севера Узбекистана. На данный момент уделяется внимание рациональному использованию существующих и новых энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии, в которые также входят солнечные энергоустановки и системы, способствующие значительному снижению выбросов парниковых газов в атмосферу. За последние годы одним из важных шагов по предотвращению климатических изменений, наблюдаемых на поверхности Земли и рационального использования природных энергетических ресурсов, показано, что требуемые условия и потребность значительно снизят экологический дисбаланс. В качестве примера были выбраны плавательные бассейны, для обогрева которых расходуются топливно-энергетические ресурсы. В данной работе проведены предварительные исследования, направленные на экономию ресурсов для обогрева плавательных бассейнов, и по расчетным исследованиям выявлены количественные показатели расхода природного газа для поддержания требуемой температуры в

рассматриваемых бассейнах. Также показана эффективность максимального использования солнечной энергии для достижения энерго- и ресурсосбережения при обогреве бассейна, рассматриваемого как объект исследования. При этом были рассчитаны количество газа, необходимое для нагрева до заданной температуры, а также определена требуемая мощность для поддержания умеренной температуры, и проведено сравнение с имеющимися данными.

One of the reasons for this phenomenon may be climate change in the Earth and this phenomenon disrupts the balance between nature and humanity: in some places, a large amount of precipitation falls, and in others, drought increases. This is manifested in the form of severe desertification, especially in the territory of the north of Uzbekistan. At the moment, attention is being paid to the rational use of existing and new energy complexes based on renewable energy sources, which also includes solar installations and systems that contribute to a significant reduction in greenhouse gas emissions into the atmosphere. In recent years, one of the important steps to prevent climate change observed on the Earth's surface and the rational use of natural energy resources has shown that the required conditions and needs will significantly reduce the ecological imbalance. As an example, swimming pools were chosen, for heating of which fuel and energy resources are consumed. In this paper, preliminary studies aimed at saving resources for heating swimming pools have been carried out and quantitative indicators of natural gas consumption for maintaining the required temperature in the pools under consideration have been identified based on calculated studies. The efficiency of the solar energy maximum use to achieve energy and resource conservation when heating a swimming pool considered as an object of research is also shown. At the same time, the amount of gas required for heating to a given temperature was calculated, and the required power to maintain a moderate temperature was determined, and a comparison was made with the available data.

Введение. Узбекистан с населением около 35,4 млн. человек является самой густонаселенной страной в Центральной Азии, и, следовательно, рост населения, экономическое развитие и урбанизация, еще больше нагружат энергетическую систему в будущем, так как в настоящем это уже ощущается.

Республика расположена в привилегированном анклав на Шелковом пути между Европой и Восточной Азией. Такое расположение дало в прошлом богатую историю и культуру, а сегодня остается одним из главных достояний страны. Однако также необходимо отметить, что страна не имеет выхода к морю, и это в свою очередь одна из главных причин, которая тормозит экспорт и удорожает импорт, необходимый для модернизации всех отраслей экономики республики [1].

На табл. 1 приведено процентное соотношение потребления электроэнергии ключевых секторов энергетики в Узбекистане на 2021г. [2].

Энергетический сектор страны, который до недавних пор считался богатым ископаемым топливом, достаточно сильно зависят от не возобновляемых ресурсов. Отношение запасов к добыче составляет 19 лет по нефти [3], 28 лет по газу [3] и 575 лет для угля [4]. Кроме того, запасы горючего сланца считаются значительными [5]. Изобилие этих ресурсов выступает препятствием для про-

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

цесса диверсификации энергетики. Будущая диверсификация источников энергии является неизбежным процессом по многим причинам: антропогенное изменение климата, необходимость перехода к надежным и безопасным источникам энергии и наличие огромного потенциала для производства возобновляемой энергии [6].

Таблица 1

Потребление электроэнергии в Узбекистане по секторам

Секторы	Потребление электроэнергии
Промышленность	35,9%
Население	27,7%
Сельское хозяйство	16,6%
За коммунальные услуги	4%
Бюджетные организации	2,4%
Транспорт	1,5%
Строительство	1%
Прочие	10,8%

Производство возобновляемой энергии является наиболее важным для республики. Воздействие изменения климата в Центральной Азии уже можно наблюдать во все более частых климатических аномалиях, таких как значительное отклонение от средних уровней осадков, усиление засухи из-за аномального повышения температуры окружающей среды и необычно суровые зимы, которые можно оценить даже по метеоданным за последние три года. Например, показатель средней минимальной относительной влажности воздуха по [7] с обработанными авторами [8, 9, 10] климатическими данными показывает, что есть существенная разница в искомом значении для наиболее холодного месяца за исключением некоторых регионов, в которых наблюдается снижение данного значения от -1% до -15%, в целом. Также за последние 10-15 лет наблюдается резкий спад скорости ветра и числа дней с пыльной бурей и пыльной поземкой существенное изменение повторяемости направления ветра, средней скорости по направлению, а также штиля ветра.

Необходимо в этом контексте также отметить значений средней за сутки суммы (прямой/рассеянной) солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, при средних условиях облачности выявлен существенный прирост значений прямой солнечной радиации и относительный спад рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности по регионам Республики а также значения градусо сутки в отопительный период (ГСОП) для территории страны, относительно большая разница значения ГСОП говорит о том, что потепление на территории страны за последние 15 лет ускоряется [11].

Эти явные аномалии вызывают еще более тревожные проблемы, такие как энергетические кризисы зимой [12]. Кроме того, они также увеличивают потребление энергии, которое, как упоминалось выше, в значительной степени основано на ископаемом топливе. Поэтому проникновение в сектор энергетики суботрасли возобновляемой энергетики для регионов Центральной Азии является одним из приоритетных и востребованных вопросов реформирования энерге-

тического сектора и, следовательно, устойчивого развития, как указано в руководящих документах правительства [12].

Принимая во внимание вышеизложенное, страны Центральной Азии уже ускоренными темпами планируют сокращать производство энергии, используя природные запасы и умеренно переходить на использование возобновляемых источников энергии в секторе по более безопасным сценариям.

В данном сообщении представлены результаты поисковых исследований относительно использования солнечной энергии в плавательных бассейнах, являющиеся одним из энергосистем на основе возобновляемых источников энергии, которые могут использоваться как в качестве системы обогрева, так и в качестве системы охлаждения [13]. Плавательные бассейны открытого и закрытого типа с использованием солнечной системы отопления, в мировой практике используются достаточно широко, так как с экономической точки зрения, это обусловливается усилением необходимости сокращения мирового потребления ископаемых видов топлива, и с другой стороны приводит к угрозе защиты окружающей среды.

В климатических условиях республики, при использовании солнечного отопления в бассейнах, можно сэкономить значительное количество энергии, в частности, при повышении температуры воды в открытом пассивном бассейне до $7.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет солнечного излучения в течение суток с учетом тепловых потерь, которые составляют 66 %. При скорости ветра 3 м/с можно сэкономить количество энергии равной 6.28 кВт в зависимости от объема поверхности бассейна [14]. А также дополнительно можно сэкономить энергию путем включения солнечных одеял с подогревом в бассейн. Установка съемной практичной крышки может устранить испарение и уменьшить потери тепла [15].

Как известно, в открытых пассивных бассейнах различные потери энергии обычно происходят из-за воздействия окружающей среды. Обычно 1 % энергии теряется на теплопроводность, 4 % на конвекцию, 9 % на излучение и заполнение водой и 77 % на испарение [16].

Для снижения возможных потерь энергии в нем используются различные методы, наиболее распространенным из которых является покрытие поверхности бассейна. Чтобы уменьшить испарение, с помощью селективных покрытий можно повысить абсолютную эффективность нагрева примерно на 12 % по сравнению с полностью непрозрачным аналогом. Это сопоставимо с увеличением абсолютной эффективности на 20 % [17].

Практический пример расчета. Приведем пример упрощенного расчета по экономии первичных энергоресурсов для обогрева бассейна с размерами $5 \times 3,6 \times 1\text{ м}^3$, в котором температуру воды необходимо повысить на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. от $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

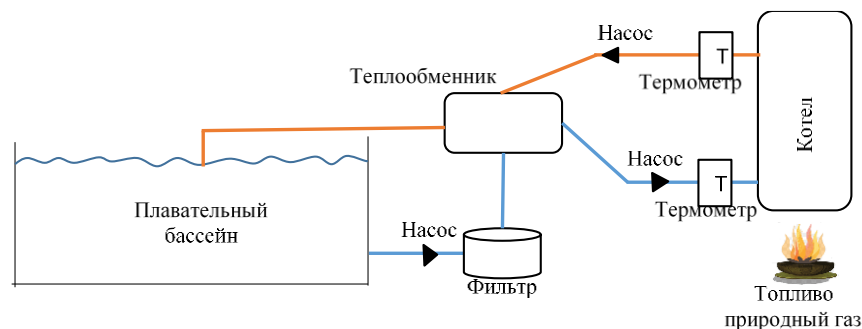


Рис. 1. Принципиальная схема бассейна с газовым подогревом

На рис. 1 показана принципиальная схема бассейна с газовым подогревом. Для заполнения бассейна с вышеуказанными размерами требуется вода объемом 18 т. Для повышения температуры воды в бассейне от 17 °С до 27 °С, согласно [18], расходуется 756 ГДж энергии или сжигается 140 м³ природного газа. Для поддержания температуры воды ±0,1 градуса в течение 12 час. расходуется в среднем 175 Вт энергии, или эту мощность мы можем получить, сжигая 1,4 м³ природного газа. Таким образом, для повышения температуры воды в бассейне 5х3,6х1 м³ с 17 °С до 27 °С за 12 час. необходимо сжечь в среднем 141,4 м³ газа [18].

В табл. 2 представлено количество газа, используемого для повышения температуры в бассейнах различного назначения с 17 °С до требуемой температуры по стандарту [19]. Как видно из таблицы, в зависимости от объема и назначения бассейнов, возможно сэкономить природный газ а объеме от 1600 до 16000 м³.

Таблица 2

Расчет количества газа, используемого для обогрева разных бассейнов

№	Виды бассейнов (назначение)	Объемный размер бассейна, м ³	Температура воды, °С	Количество сожженного газа, м ³	Количество газа, используемого для поддержания температуры бассейна в течение 12 часов, м ³	Общее объем газа, м ³	Оплата за потребленный газ (1 м ³ =3), тыс. сум
1	Спортивные	50х21х2 (2100)	17-28	17907	163	18070	6866,6
2	Оздоровительные	20х5х2 (200)	17-29	1861	16	1877	713,26
3	Детские	5х3.6х1 (18)	17-30	181	1.4	182.4	69,312

Выводы. Следует отметить, что солнечное отопление бассейна может сэкономить более 40-50% природного газа [20]. Представленные значения в таблице показывают, что на обогрев поверхности 1 м² спортивных бассейнов расходуется в среднем 17 м³ газа, оздоровительных - 19 м³, детских - 10 м³. Безусловно это приводит к огромным затратам, и одним из путей для снижения затрат на м³ природного газа является использование энергии солнечного излучения для нагрева воды по указанным требованиям для всех видов бассейнов.

Литература

1. Antonio Gomez, Cesar Dopazo, Norberto Fueyo. The future of energy in Uzbekistan / *Energy xxx* (2015) 1-10.
2. Камалов А. Энергетический сектор Узбекистана: состояние и перспективы / Отчет ЦЭИР Узб. Центр экономических исследований. <https://nuz.uz/ekonomika-i-finansy/1240248-energeticheskij-sektor-uzbekistana-sostoyanie-i-perspektivy.html>.
3. BP statistical review of world energy. 2012. Available from: <http://www.bp.com/statisticalreview> [accessed April 2013].
4. U.S. Energy Information Administration. International energy statistics. Available from: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm> [accessed May 2013].
5. World Energy Council. 2010 survey of energy resources. London. 2010.
6. Bahtiyor R. Eshchanov, and et.all. Prospects of renewable energy penetration in Uzbekistan—Perception of the Khorezmian people // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (2013) 789–797.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР, Серия 3, Многолетние данные, 4, 1-6, Вып. 19. Узбекская ССР Кн.1,-Л.: Гидрометеиздат, 1989.
8. N R Avezova, E Yu Rakhimov, N N Dalmuradova, and M B Shermatova. Adjustments to the indicators of the heating and cooling degree-days for regions of the Republic of Uzbekistan/OP Conf. Series: Earth and Environmental Science 939 (2021) 012017, doi:10.1088/1755-1315/939/1/012017.
9. Н.Р. Аvezова, Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, Д.У. Абдухамидов. Динамика изменения показателей градуса-суток отопительного периода в Узбекистане за последние 40 лет.//журнал “Проблемы энерго и ресурсосбережения”, № 01, 2022г., 108-119 с.
10. Avezov, R.R., Avezova, N.R., Vokhidov, A.U., Rakhimov, E.Y., Usmonov, N.O. Influence of Meteorological Factors on the Thermal Loss Coefficient of Light-Absorbing Heat Exchange Panels of Flat-Plate Solar Water Heating Collectors through Transparent Coatings of Their Casings // *Applied Solar Energy*, 2018, №54. V. 6. – 406–412.
11. Первый двухгодичный отчет по обновленным данным Республики Узбекистан. Подготовлен в соответствии с рамочной конвенцией ООН об изменении климата. Ташкент 2021.
12. Laldjebaev M. The water–energy puzzle in Central Asia: the Tajikistan perspective. *International Journal of Water Resources Development* 2010;26(1): pp. 23–36.
13. D.Borge, A.Colmenar, M.Castro, S.Martín, E.Sancristobal. Exergy efficiency analysis in buildings climatized with LiCl–H₂O solar cooling systems that use swimming pools as heat sinks / *Energy and Buildings* 43 (2011) pp. 3161–3172.
14. А.У. Вохидов, З.Дж. Арзиев. Тепловая эффективность открытых пассивных бассейнов / *Альтернативные и возобновляемые источники энергии*. Ташкент 2022. С. 134-140.
15. J.L.A.Francey, P.Golding and R.Clarke. Low-cost solar heating of community pools using pool covers / *Solar Energy* Vol. 25, pp. 407–416 Pergamon Press Ltd., 1980. Printed in Great Britain.

16. Ahmad Aboushi, Abeer Abu Raed. Heating indoor swimming pool using solar energy with evacuated collectors / 2015 International Conference on Advances in Environment Research Volume 87 of IPCBEE (2015) DOI: 10.7763/PCBEE. 2015. V87. 17.

17. Remi Wachea, Tim Fielder, Will E.C. Dickinsona, Joe L.Halla, Peter Adlington, Stephen J. Sweeney, Steven K. Clowes. Selective light transmission as a leading innovation for solar swimming pool covers / Solar Energy 207, 2020 pp. 388–397.

18. Иссиқлик энергиясини ишлаб чиқиш, узатиш учун ёқилғи, электр энергияси, иссиқлик энергияси ва сув сарфларининг меъёрларини ҳамда иссиқлик юктамаларини, шунингдек технологик йўқотишларни аниқлаш тартиби тўғрисида низом. Электр энергетикада назорат бўйича давлат инспекцияси, Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги нефть маҳсулотлари ва газдан фойдаланишни назорат қилиш давлат инспекцияси, «Ўзкоммунхизмат» агентлиги ва Саноатда, кончиликда ва коммунал-маиший секторда ишларнинг беҳатар олиб борилишини назорат қилиш давлат инспекцияси томонидан 2007 йил 7 майдаги 90, 29-П, 26, 71-сон қарори.

19. Санитарные нормы и правила по проектированию, устройству и эксплуатации плавательных бассейнов. СанПиН РУз N 0221-07.

20. E. Hahne and R. Kubler. Monitoring and simulation of the thermal performance of solar heated outdoor swimming pools / Solar Energy, Vol. 53, No. 1, pp. 9-19, 1994.

*Представлено Физико-техническим институтом
Академии наук Республики Узбекистан*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПАССИВНЫХ
ДОМОВ

Н.Н. Далмурадова, М.Б. Шерматова, Насиба Далмурадова, Д.Хошимов,
И. Рахматшоев, С. Насриддинов

Сайёрадаги табиий ресурслар захираларининг жиддий чекланганлиги бутун дунёни энергия самарадорлигини ривожлантириши, хусусан, жаҳон бозорида энергия тежаши соҳасидаги замонавий илмий ҳажмдор технологиялар ва ечимлар ҳақида ўйлашга мажбур қилмоқда. Энергия тежамкор қурилиш концепцияси бино ва иншоотларда кам иқтисодий харажатлар ҳамда кам энергия сарфлаган ҳолда қулай иссиқлик муҳитига эришишни кўзда тутувчи, ва ўз навбатида турар-жой, жамоат ва саноат биноларини қуриш ва шилатиш харажатларини камайтиришни таъминлашга қаратилган тадбирдир. Маълумки, энергия тежамкор технологиялар жорий этилган уйлاردан фойдаланиш натижасида иситиш, иссиқ сув ва электр энергияси учун харажатларни 25% дан 40% гача тежашига эришилади. Бугунги кунда пассив уйлар дунё бўйича энергия самарадорлик борасидаги мавжуд глобал тенденцияларга қўшилмоқда, уларнинг асосий гояси иситиш харажатларини камайтириш, шу билан бирга аҳоли учун соғлом, қулай микроклимни таъминладан иборатдир. Ушбу мақолада пассив уйларни лойиҳалаш ва қуришнинг экологик жиҳатлари, маҳсулотларнинг углерод изини тартибга солиш борасидаги халқаро амалиёт, шунингдек қурилиш маҳсулотлари ва биноларнинг ҳаёт цикли давомида чиқиндиларни баҳолаш усуллари, меъёрий хужжатлар ва стандартлар таҳлили келтирилган. Пассив уйларни лойиҳалашда қайта тикланадиган энергия технологияларидан фойдаланиш бўйича амалий ҳисоблаш мисоли келтирилган – бунда қўллаган ҳолда иссиқ сув мақсадлари учун 37⁰С ҳароратли иссиқ сув олишида 200 л ҳажмли қуёш сув иситгич коллекторидан фойдаланганда, йилига 0.67 т гача СО₂ газининг атмосферага чиқишини камайтиришга эришиш мумкинлиги кўрсатилган. Республикада пассив уйларни лойиҳалаштириш, яратиш ва улардан фойдаланиш амалиётини қўллаш имконияти, шунингдек, ушбу технологияни мамлакатдаги иқлим ўзгариши ва глобал иқлим ўзгариши шароитига мослашиш учун ечим сифатида қўллашнинг мақсадга мувофиқлиги, бу эса ўз навбатида республикада қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш, ёқилги-энергетика ресурсларини тежаши имкониятига эришиш мумкинлиги кўрсатилган.

Серьезные ограничения в запасах природных ресурсов на планете заставляют думать о развитии сферы энергоэффективности, в частности, современных наукоемких технологий и решений в области энергосбережения. Само понятие энергосберегающего строительства предусматривает применение современных технологий и материалов, обеспечивающих высокий тепловой комфорт и малое потребление энергии, с низкими расходами на эксплуатацию, которое в свою очередь позволяют сократить затраты на возведение и эксплуатацию жилых, общественных и производственных зданий. Известно, что в до-

мах, где реализованы энергоэффективные технологии, достигается экономия на оплате отопления, горячей воды и электроэнергии в размере от 25% до 40%. На сегодняшний день к популярным мировым трендам в этой области добавляются пассивные дома, основная идея которых заключается в снижении расходов на отопление, с поддержанием здорового, благоприятного микроклимата для жильцов. В данной статье рассмотрены экологические аспекты проектирования и строительства пассивных домов, выполнен обзор по международной практике регулирования углеродного следа продукции, также а методов, нормативных документов и стандартов по оценке выбросов за жизненный цикл строительных изделий и зданий. Приведен пример практического расчета применения технологий возобновляемых источников энергии в проектировании пассивных домов и показано, что в случае использования коллектора с объемом воды 200 л для получения горячей воды в 37°C , в целях использования для горячего водоснабжения, уменьшение выбросов CO_2 в течение года при сжигании 360 м^3 природного газа составляет 0,67 т. Показана возможность применения практики проектирования, создания и эксплуатации использования пассивных солнечных домов в республике, а также целесообразность использования данной технологии, как решение к адаптации климатическим изменениям и глобальному потеплению на территории страны. Это в свою очередь, способствует популяризации и расширению масштабов практического использования возобновляемых источников энергии в республике, так как возможность сэкономить топливно-энергетические ресурсы намного увеличивается при условии, если будут использоваться пассивные системы солнечного отопления, освещения и горячего водоснабжения.

Serious limitations in the reserves of natural resources on the planet make to think about the development of energy efficiency, in particular modern high-tech technologies and solutions in the field of energy conservation. The very concept of energy-saving construction involves the use of modern technologies and materials that provide high thermal comfort and low energy consumption, with low operating costs, which in turn can reduce the cost of construction and operation of residential, public and industrial buildings. It is known that in houses where energy-efficient technologies are implemented, as a result, savings on heating, hot water and electricity are achieved in the amount of 25% to 40%. To date, passive houses are being added to the popular global trends in the field, the main idea of which is to reduce heating costs, while maintaining a healthy, favorable microclimate for residents. This article examines the environmental aspects of the design and construction of passive houses, provides an overview of the international practice of regulating the carbon footprint of products, as well as methods, regulatory documents and standards for assessing emissions over the life cycle of construction products and buildings. An example of a practical calculation of the use of renewable energy technologies in the design of passive houses is given – it is shown that in the case of using a solar collector with a water volume of 200 liters to produce hot water at 37°C , for use for hot water supply, the reduction of CO_2 emissions during the year when burning 360 м^3 of natural gas is 0.67 t. The possibility of applying the practice of designing, creating and operating the use of passive solar houses in the republic is shown, as well as the expediency of using

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

this technology as a solution to adapt to climate change and global warming in the country, which in turn contributes to the popularization and expansion of the practical use of renewable energy sources in the republic, as the opportunity to save fuel and energy resources much increases under the condition, if passive solar heating, lighting and hot water systems are used.

Введение. В настоящее время производимые тепло и электроэнергия, отличаются высокой «углеродоемкостью» в связи с тем, что доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем объеме энергоресурсов еще достаточно мала. Парижское соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата было ратифицировано Постановлением Правительства Узбекистана в 2018 году [1], в соответствии с которым Узбекистан выразил «готовность внести свой вклад в устранение последствий изменения климата, не имеющее границ». Стране еще предстоит пройти серьезный путь по созданию и включению в нормативно-правовую базу механизмов поддержки возобновляемой энергетики и выхода на международный рынок торговли квотами на выбросы.

По данным Министерства энергетики Республики Узбекистан (Минэнерго РУз), с 2010 по 2019, абсолютный объем выбросов парниковых газов (ПГ) в Узбекистане увеличился на 30,6%, в том числе выбросы от электростанций увеличились на 65,2% и по итогам 2019 года на долю энергетики приходилось 19,5% от общего объема выбросов ПГ в стране. В рамках неблагоприятной ситуации с выбросами ПГ, Правительство Узбекистана приумножило усилия по продвижению «зеленой» повестки страны, в соответствии с которой поставило цель добиться двукратного повышения энергоэффективности и снижения выбросов углекислого газа (CO₂) по отношению к ВВП [2]. Ниже приводится информация о количестве выбросов CO₂ в атмосферу при сжигании тонны топлива.

В данном контексте имеет значение практики государств мира по определению и сокращению углеродного следа в производстве изделий. Так, Агентство по охране окружающей среды США (Environmental Protection Agency, EPA) отслеживает общие выбросы в стране, публикуя ежегодные отчеты об инвентаризации выбросов ПГ в стране, где оцениваются общие национальные выбросы и удаление парниковых газов, связанные с антропогенной деятельностью на всей территории США [3].

Таблица 1
Количество выбросов CO₂ в атмосферу при сжигании топлива
(на тонну топлива)

Виды топлива	Объем выбросов CO ₂ , т	Виды топлива	Объем выбросов CO ₂ , т
Уголь каменный	2,29	Кокс	2,8
Уголь бурый	1,45	Природный газ	1,88
Брикеты угольные	2,12	Мазут	3,16
		Дизельное топливо	3,12

Согласно последнему доступному отчету [3], распределение секторов в качестве источников выбросов ПГ приведено на рис.1.

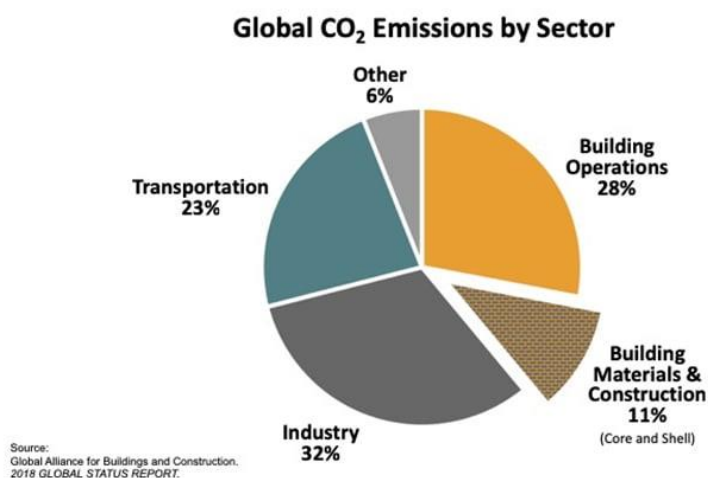


Рис. 1. Распределение секторов в качестве источников выбросов ПГ

Информация о выбросах на всех этапах жизненного цикла используется из экологических деклараций продукции (EPD), являющийся эффективным технико-информационным инструментом, позволяющий профессионалам строительной отрасли приобретать продукцию с критериями экоустойчивости, которые обеспечивают архитектурному проектированию зданий соответствие правилам Умного и Зеленого строительства [4], а также из специализированных баз данных, таких как Impact Estimator for Buildings, Athena, One-Click-LCA [5].

Декларации экологических продуктов выполняются в соответствии с принципами ISO 14025 [6] и должны соответствовать требованиям EN 15804 [7] или ISO 21930 [8]. Стандарт ISO 14025 позволяет рассчитать экологические показатели отдельных товаров определенной категории на всех этапах их жизненного цикла.

Итоговые экологические декларации продукции представляются в виде технического отчета, подготовленного независимой экспертной организацией на основе исследований жизненного цикла конкретного вида продукции. Зарегистрированная торговая марка «Экологическая декларация продукта» представляет собой глобальную программу экологических деклараций, основанную на стандартах ISO 14025 и EN 15804 [7].

Онлайн-база данных EPD в настоящее время содержит более 1100 EPD для широкого круга категорий продуктов организаций в 45 странах.

Особое внимание следует обратить на специфику применяемых стандартов:

ISO 21930:2017 [9] содержит принципы, спецификации и требования к разработке экологических деклараций продуктов EPD непосредственно для строительных продуктов и систем, используемых в любом типе строительства. ISO 21930:2017 дополняет ISO 14025, предоставляя конкретные требования к строительным продуктам и услугам EPD. Кроме того, ISO 21930:2017 устанавливает требования к правилам категорий продуктов (PCR), которые необходимо учитывать при разработке EPD для любой строительной продукции, стандарт

также описывает правила расчета для инвентаризации жизненного цикла (LCI), некоторых экологических показателей и оценки воздействия жизненного цикла (результаты LCIA) должны быть представлены в EPD.

EN 15804 [7]. Этот стандарт гармонизирует структуру EPD для строительной отрасли, делая информацию прозрачной и сопоставимой. Стандарт был впервые опубликован в 2012 году и официально известен как EN 15804+A1 [10] «Устойчивость строительных работ. Декларации экологических продуктов. Основные правила для товарной категории – строительные товары». В настоящее время разрабатывается вторая версия стандарта под названием EN 15804+A2 [11]. Новая версия соответствует принципам экологического следа продукта (PEF).

На рынке существует несколько программ для проведения оценки жизненного цикла материалов, таких как SimaPro, GaBi Software [12].

Что касается российских строительных материалов, то имеется лишь небольшое количество экологических деклараций (в основном продукция Saint-Gobain, Rockwool и Knauf [13]). Поэтому для оценки материалов в российских проектах используются экологические декларации аналогичных характеристик материалов из других стран.

Стоит отметить, что количественная оценка выбросов, в том числе выбросов ПГ за весь жизненный цикл здания, является важнейшей задачей в условиях резкого изменения климата. Только оценив общий объем выбросов, можно определить источники самых больших выбросов и предложить решения по их сокращению.

На сегодняшний день уже известно, что ВИЭ являются решением не только проблемы обеспечения населения доступной, недорогой и чистой энергией, а ещё и проблемы снижения углеродного следа производимой продукции, которая и стала основной причиной повышения интереса во всем мире к зеленой энергетике, так как мир стремится к сокращению выбросов ПГ, связанных с использованием углеводородного топлива, электричества, а также с отоплением и охлаждением зданий и сооружений.

В республике ведутся масштабные работы по созданию крупных ФЭС, также, Правительством, в целях достижения увеличения к 2030 году долю ВИЭ до 25% в общем объеме производства электроэнергии в стране, поручено расширить использование ВИЭ в домах, на административных предприятиях, в детских садах, школах, больницах и др. [14].

Известно, что сегодня в Республике 40% производимой электроэнергии используется на отопление и освещение, то есть годовое удельное энергопотребление отопление и освещение составляет 400 кВт·час, в развитых странах 170 кВт·час [15]. Как показывают проведенные исследования, удельное энергопотребление сельских жилых зданий с первым уровнем тепловой защиты (типовое четырёхкомнатное жилое здание) только в целях отопления составляют 218 кВт·час/м² [16]. В ходе презентации Министерства энергетики в рамках «круглого стола», посвященного повышению энергоэффективности зданий, который прошел 11 ноября 2021 года, было отмечено, что фактический средний расход топлива на отопление в Узбекистане составляет 320-390 кВт·ч на м², тогда как в странах Европы аналогичный показатель составляет порядка 150 кВт·ч на квадратный метр, а среднемировой - 220 кВт·ч/м² [17]. Так, если в среднем этот по-

казатель взять 360 кВт·ч на м², с учетом, что не менее 25% энергии для отопления израсходовать за счет ВИЭ, получается, что расход топлива на отопление в Узбекистане можно уменьшить до 270 кВт·ч на м². Это, в свою очередь, приводит к экономии эмиссии от 0,36т и 2,3т CO₂ в год при сжигании природного газа и угля, соответственно, при условии создания инфраструктуры, учитывающий использование солнечных систем энергоснабжения.

Согласно исследованиям [18], технический потенциал ВИЭ в Республике Узбекистан составляет 176 млн. т.н.э., из них энергетический потенциал солнечной энергии составляет 98,5%. Согласно многолетним наземным актинометрическим данным интенсивность солнечной радиации на территории Республики изменяется в пределах от 1500 кВт·ч/м²·год до 2100 кВт·ч/м²·год. Минимальное и максимальное значения месячной солнечной интенсивности прямого солнечного излучения на нормальную поверхность, например, для города Паркента (Ташкентского области) наблюдаются, соответственно, в январе (70 кВт·ч/м²·месяц) и в июле (262 кВт·ч/м²·месяц). Число часов солнечного сияния в течение года во многих регионах Республики (за исключением Ферганской долины) доходит до 2900÷3100 часов, а Сурхандарьи - 3000-3100 часов [18].

В данном контексте необходимо указать целесообразность использования пассивных домов, как решение к адаптации климатическим изменениям и глобальному потеплению на территории страны. Пассивное солнечное проектирование зданий и энергоэффективное озеленение поддерживают энергосбережение пассивного дома и могут интегрировать их в и окружающую среду. Согласно Международному стандарту пассивного дома Института пассивного дома США (PHIUS) – стандарт PHIUS+ [19], в соответствии с технологиями пассивного солнечного строительства, по возможности здания следует проектировать компактной формы, чтобы уменьшить их площадь, с главными окнами, ориентированными на экватор - на юг в северном полушарии и на север в южном полушарии - чтобы максимизировать пассивное солнечное излучение.

Однако, приток солнечного тепла, особенно в регионах с умеренным климатом, является вторичным по отношению к минимизации общих энергетических потребностей дома в климатических условиях и регионах, где необходимо уменьшить чрезмерное пассивное солнечное тепло летом от прямых или отраженных источников, за счёт солнечного блокатора, деревьев, зеленых крыш и других методов.

Стоит отметить, что в стране имеется опыт по разработке, проектированию и эксплуатации инсоляционных систем солнечного отопления, систем солнечного теплоснабжения с сезонным аккумулярованием тепла, а также систем солнечно-топливного горячего водоснабжения (ССГВС) [20]. В рамках проекта ФА-И4-Ф-003, авторами были разработаны система солнечно-топливного горячего водоснабжения с использованием плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК), бак-аккумуляторов и котла мощностью 0,5 кВт; система солнечного теплоснабжения с сезонным аккумулярованием тепла, с использованием ФЭС, ПСВК, бак-аккумулятора и других комплектующих, а также инсоляционная пассивная система отопления с использованием оконных блоков с энергоактивным трехслойным свет прозрачным ограждением с частично луче поглощающим слоем. Предварительные расчеты показали, что инсоляционные си-

стемы солнечного отопления с энергоактивными светопрозрачными ограждениями дадут возможность сэкономить топливно-энергетические ресурсы, расходуемые на отопительный период, на 40%; Причем, система солнечного горячего водоснабжения объекта, в климатических условиях Узбекистана, даст возможность сэкономить топливно-энергетических ресурсов, расходуемых на период апрель-октябрь, на 80%;

Согласно экспертам, при использовании гелиотехнических установок, таких как ФЭС, ПСВК и др., удельное (отнесенное к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСВК) снижение выбросов CO_2 в окружающую среду за счет использования ПСВК для нагрева воды в СГВС, вместо сжигания традиционных видов топлива, определяется согласно известному выражению, где учитывается отношение количества выбрасываемого CO_2 на единицу количества сжигаемого топлива, зависящее от содержания углерода (С) в топливе [21]. Как следует из их расчетов, ежегодное снижение выбросов CO_2 в окружающую среду за счет использования ПСВК для нагрева воды в СГВС зависит как от содержания С в топливе r_c , так и от температуры нагреваемой с их помощью горячей воды $t_{f_{\text{вых}}}$. Например, при $r_c = 0,40$ возможное ежегодное снижение CO_2 составляет 1404,44 кг/м² при $t_{f_{\text{вых}}} = 37^\circ\text{C}$, 1282,5 кг/м² при $t_{f_{\text{вых}}} = 45^\circ\text{C}$ и 1130,08 кг/м² при $t_{f_{\text{вых}}} = 55^\circ\text{C}$.

В Узбекистане, в рамках совместного проекта ПРООН/ГЭФ и Министерства строительства РУз «Содействие развитию строительства энергоэффективного сельского жилья в Узбекистане», в пяти регионах страны построены энергоэффективные жилые дома. Крыши нововозведенных одноэтажных и многоэтажных жилых домов с использованием первого и второго уровня теплозащиты стен, оснащены 800 шт. фотоэлектрическими панелями (ФЭП) (автономные ФЭС) мощностью 300 Вт и 528 шт. ФЭП мощностью 600 Вт для систем электроснабжения [22].

Согласно авторам работы [23], если учесть, что месячное энергопотребление равно 300 кВт·час, (согласно нормам, установленным Министерством энергетики), для электрообеспечения одного четырехэтажного дома, состоящего из 24 квартир, требовалось 7200 кВт·час в месяц. При этом, при условии 30% замещения электрообеспечения за счет ФЭС, возникала необходимость генерации 2160 кВт·час, для чего даже при низких значениях интенсивности солнечной радиации, на крыше выбранного объекта необходимо установить ФЭС мощностью 31,68 кВт. При этом, удельная экономия природного газа и Ангренового угля составляет 6388 Нм³ и 16 т в год, соответственно. Уменьшение выбросов CO_2 в течение года при сжигании природного газа составляет 8,7 т и Ангренового угля (в зависимости от процентного содержания углерода в составе угля) от 55 т до 84 т, соответственно.

Авторами проведены расчеты возможностей использования пассивных домов с солнечными водонагревательными коллекторами разных объемов (табл.2), где сравниваются расходы электрической энергии и сроки окупаемости для физических и юридических лиц.

Таблица 2

Расход электрической энергии и сроки окупаемости для физических и юридических лиц

№	V (л)	Расход ЭЭ для достижения разности температуры воды на 30 ⁰ C (кВт·ч)	Количество дней с возможностью использования коллектора (число ясных дней)	Годовая оплата за расходо-ванную ЭЭ (1 кВт·ч =300 сум), тыс. сум	Средняя стоимость коллектора с выбранным объемом, тыс.сум	Срок окупаемости при стабильной стоимости ЭЭ, год
<i>для физических лиц</i>						
1	100	4	300	350	3500	10,0
2	150	6		525	4200	8,0
3	200	8		700	4500	6,4
4	250	10		875	5500	6,3
5	300	12		1050	6500	6,2
<i>для юридических лиц</i>						
1	100	4	300	700	3500	5,0
2	150	6		1050	4200	4,0
3	200	8		1400	4500	3,2
4	250	10		1750	5500	3,1
5	300	12		2100	6500	3,1

Если учесть, что для производства 1 кВт·ч электрической энергии расходуется 0,15 м³ природного газа, то в случае использования коллектора с объемом воды 200 л для достижения разности температур 30⁰C за год расходуется 360 м³ природного газа. Согласно известным методикам, при сжигании 1000 м³ природного газа выделится 1,85 т СО₂. Тогда для рассматриваемого случая, уменьшение выбросов СО₂ в течение года при сжигании 360 м³ природного газа составляет 0,67 т.

Вышеуказанное доказывает, что снижения углеродного следа в стране можно достичь в совокупности мероприятий по практическому использованию установок и систем на основе ВИЭ, наряду с формированием более экологичной корпоративной культуры каждой организации – проведения мероприятий в онлайн и гибридном форматах, выбора более экологичных мероприятий по повышению энергоэффективности, энерго- и ресурсосбережения, а также озеленения окружающей среды.

Выводы. Следует отметить, что для достижения поставленных Правительством целей по сокращению выбросов ПГ к 2030 году, необходимо усовершенствовать законодательную и нормативную инфраструктуру в области оценки УС продукции и налоги на углерод (Carbon tax) для производителей и пользователей одновременно. Это, в свою очередь, в ближайшей перспективе станет серьезным импульсом в развитии механизмов регулирования не только зеленой энергетики, но и всех секторов экономики.

Также отметим, что в рамках разработки, создания и эксплуатации практики пассивных домов, хорошие энергетические показатели могут быть достигнуты во многом «пассивным» путем, то есть за счет хорошего поглощения, хра-

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

нения и сохранения тепла, в результате правильно выполненного архитектурного проекта здания.

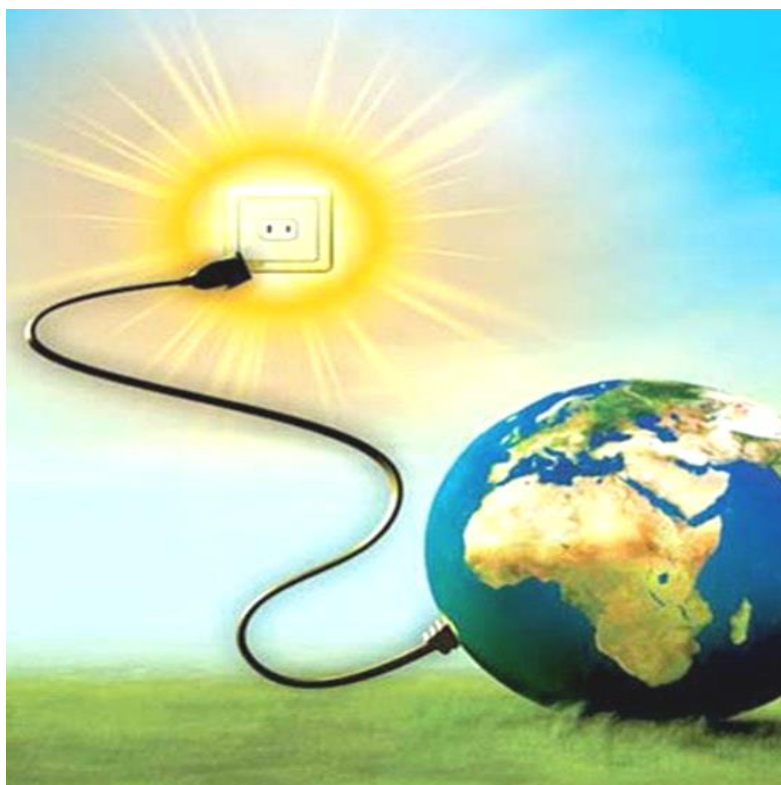
В силу амбициозной цели государства по повышению устанавливаемой мощности ВИЭ 8ГВт к 2026 году, инициатива применения практики создания пассивных домов способствует популяризации и расширению масштабов практического использования ВИЭ в республике, так как возможность экономить топливно-энергетические ресурсы намного увеличивается при условии, если будут использоваться пассивные системы солнечного отопления, освещения и горячего водоснабжения.

Литература

1. Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-491 «О ратификации Парижского соглашения» от 02.10.2018.
2. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4477 «Об утверждении Стратегии перехода Республики Узбекистан к «зеленой» экономике на период 2019-2030 годы» от 04.10.2019.
3. Ежегодный отчет *Environmental Protection Agency*, EPA. <https://www.epa.ie/news-releases/news-releases-2022/>
4. Экологическая декларация продукции. <https://www.ceramica.info/ru/articoli/epd/>
5. База данных Estimator for Buildings. <https://www.wbdg.org/additional-resources/tools/athena-impact-estimator-buildings>
6. ISO 14025 [4] (Экологические этикетки и декларации. Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры) <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14025:ed-1:v1:ru>
7. EN 15804. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products, <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/c98127b4-8dc2-48a4-9338-3e1366b16669/en-15804-2012a2-2019>
8. ISO 21930 – “Устойчивое развитие в зданиях и строительных работах – Основные правила экологической декларации строительных товаров и услуг”
9. ISO 21930:2017 <https://www.iso.org/standard/61694.html>
10. DS/EN 15804 + A1:2013 – “Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products”.
11. CSN EN 15804+A2. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products
12. LCA software for informed change-makers. <https://simapro.com/>
13. Knauf. Паспорт безопасности в соответствии с Регламентом (ЕС) №1907/2006, приложение 2. https://mdbapi.knauf.com/v1/knauf_pdf_download.php?action=download&a=648279&c=34f879460d42fac3ffaac5a1b7bfbae&p=g, 2014.
14. Протокол видеоселекторного совещания по вопросам расширения использования возобновляемых источников энергии при Президенте Республики Узбекистан от 10 июня 2022.

15. Организации Объединенных Наций (ПРООН), “ Энергетический аудит сельского жилья в Узбекистане”, <https://www.undp.org/ru/uzbekistan/publications/энергетический-аудит-сельского-жилья-в-узбекистане>, 2020.
16. Analysis of results of energy monitoring over the heating season of 2014-2015 after application of energy-efficient measures and renewable energy in a pilot four-room rural house, GEF/UNDP, Tashkent, 2015.
17. <https://hook.report/2022/01/energetika-uzbekistana/>
18. R.R. Avezov, N. R. Avezova, N.A. Matchanov et all. “History and State of Solar Engineering in Uzbekistan”, Applied Solar Energy, Vol. 48, no. 1, pp. 14-19, 2012.
19. <https://www.phius.org/phius-2015-new-passive-building-standard-summary>
20. Н.Р.Авезова, Д.У.Абдухамидов, А.Г.Бугаков, М.А.Куралов, “Солнечное теплоснабжение административных и производственных помещений”, Международная конференция “Фундаментальные и прикладные вопросы физики” Физико-технического института Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, 5-6 ноября, 2015.
21. Н.Р. Авезова, “Моделирование процессов теплового преобразования солнечной энергии в плоских коллекторах и оптимизация их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения”, дисс. д.т.н, -Т: стр. 68, 2018.
22. “Энергоэффективные материалы и технологии в Узбекистане”, Газета.uz, 11 декабря 2021, <https://www.gazeta.uz/ru/2021/12/11/proon/>.
23. Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, М.А. Куралов, “Оценка эффективного применения фотоэлектрических станций в системах электроснабжения многоэтажных домов”, Международная конференция “Актуальные проблемы системы электроснабжения”, Ташкент, 25-26 ноября, стр. 475-477, 2021.

Представлено Ташкентским государственным техническим университетом и Национальным научно-исследовательским институтом возобновляемых источников энергии



ПОЛЬЗУЙТЕСЬ ЭНЕРГИЕЙ СОЛНЦА!



Индекс 1070

БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

