

MUHAMMAD AL-XORAZMIY
NOMIDAGI TATU FARG'ONA FILIALI
FERGANA BRANCH OF TUIT
NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHORAZMI

“AL-FARG‘ONIIY AVLODLARI”

ELEKTRON ILMIY JURNALI | ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

TA'LIMDAGI ILMIY, OMMABOP VA ILMIY TADQIQOT ISHLARI



2-SON 1(6)
2024-YIL

TATU, FARG'ONA
O'ZBEKISTON



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
FARG'ONA FILIALI

Muassis: Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali.

Chop etish tili: O'zbek, ingliz, rus. Jurnal texnika fanlariga ixtisoslashgan bo'lib, barcha shu sohadagi matematika, fizika, axborot texnologiyalari yo'nalishida maqolalar chop etib boradi.

Учредитель: Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми.

Язык издания: узбекский, английский, русский. Журнал специализируется на технических науках и публикует статьи в области математики, физики и информационных технологий.

Founder: Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorazmi.

Language of publication: Uzbek, English, Russian. The magazine specializes in technical sciences and publishes articles in the field of mathematics, physics, and information technology.

2024 yil, Tom 1, №2
Vol.1, Iss.2, 2024 y

ELEKTRON ILMIY JURNALI

ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

«Al-Farg'oniyl avlodlari» («The descendants of al-Fargani», «Potomki al-Fargani») O'zbekiston Respublikasi Prezidenti administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligida 2022-yil 21 dekabrda 054493-son bilan ro'yxatdan o'tgan.

Jurnal OAK Rayosatining 2023-yil 30 sentabrdagi 343-sonli qarori bilan Texnika fanlari yo'nalishida milliy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Tahririyat manzili:
151100, Farg'ona sh.,
Aeroport ko'chasi 17-uy,
202A-xona
Tel: (+99899) 998-01-42
e-mail: info@al-fargoniy.uz

Qo'lyozmalar taqrizlanmaydi va qaytarilmaydi.

FARG'ONA - 2024 YIL

TAHRIR HAY'ATI

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti rektori, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Muxtarov Farrux Muhammadovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali direktori, texnika fanlari doktori

Arjannikov Andrey Vasilevich,

Rossiya Federatsiyasi Sibir davlat universiteti professori, fizika-matematika fanlari doktori

Satibayev Abdugani Djunosovich,

Qirg'iziston Respublikasi, Osh texnologiyalari universiteti, fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasulov Akbarali Maxamatovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Axborot texnologiyalari kafedrasida professori, fizika-matematika fanlari doktori

Yakubov Maksadxon Sultaniyazovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU «Axborot texnologiyalari» kafedrasida professori, t.f.d., professor, xalqaro axborotlashtirish fanlari Akademiyasi akademigi

G'ulomov Sherzod Rajaboyevich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kiberxavfsizlik fakulteti dekani, Ph.D., dotsent

G'aniyev Abduxalil Abdjalilovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kiberxavfsizlik fakulteti, Axborot xavfsizligi kafedrasida t.f.n., dotsent

Zaynidinov Hakimjon Nasritdinovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kompyuter injiniringi fakulteti, Sun'iy intellekt kafedrasida texnika fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Muhammadjon To'ychiyevich,

Farg'ona politexnika instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

Abdullayev Abdujabbor,

Andijon mashinosozlik instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

Qo'ldashev Abbosjon Hakimovich,

O'zbekiston milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti, texnika fanlari doktori, professor

Ergashev Sirojiddin Fayazovich,

Farg'ona politexnika instituti, elektronika va asbobsozlik kafedrasida professori, texnika fanlari doktori, professor

Polvonov Baxtiyor Zaylobiddinovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha direktor o'rinbosari

Zulunov Ravshanbek Mamatovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Dasturiy injiniring kafedrasida dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi

Abdullaev Temurbek Marufovich,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Axborot texnologiyalari kafedra mudiri, texnika fanlar bo'yicha falsafa doktori

Zokirov Sanjar Ikromjon o'g'li,

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo'limi boshlig'i, fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori

Jurnal quyidagi bazalarda indekslanadi:



Eslatma! Jurnal materiallari to'plamiga kiritilgan ilmiy maqolalardagi raqamlar, ma'lumotlar haqqoniyligiga va keltirilgan iqtiboslar to'g'riligiga mualliflar shaxsan javobgardirlar.

MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS

Sotvoldiyev Xusniddin, Abdurahimova Mubiynaxon Ikrom qizi, Алгоритмы синтеза адаптивных систем управления нестационарными системами при неполной информации	6-12
Лазарева Марина Викторовна, Порубай Оксана Витальевна, Оптимизация режимов работы объектов возобновляемой энергетики для обеспечения энергией сельского хозяйства	13-23
Bozarov Vaxromjon Ilxomovich, TRIGONOMETRIK VAZNLI OPTIMAL KVADRATUR FORMULALARNI KOMPYUTER TOMOGRAFIYASI TASVIRLARINI QAYTA TIKLASHGA TATBIQI	24-27
Saidov Mansurjon Inomjonovich, Fisher statistikasida markaziy limit teoremlardan foydalanish	28-34
Saidkulov E.A., ZARAFSHON DARYOSINING FARKTAL XUSUSIYATLI TARMOQLARINI QURISH	35-40
Бозоров Алишер Ганишер угли, Метод диагностики по характеристической частоте АБ(аккумуляторных батарей)	41-45
Daliyev B. S., Sobolevning fazosida Abel umumlashgan integral tenglamasini yechish uchun optimal koeffitsiyentlar va optimal kvadratur formulaning normasi	46-53
Nurjanov Furqatbek Reyimberganovich, SUNIY INTELLEKT USULLARI YORDAMIDA TASVIRDAN SHAXSNING YUZ TASVIRI JOYLASHGAN SOHASINI TOPISH ALGORITMLARI	54-60
Boyquziyev Ilxom Mardanoqulovich, Rahmatullayev Ilhom Raxmatullayevich, Axadova O'g'iloy Chorshanbi qizi, RSA shifrlash algoritmining maxfiy kalitini aniqlash algoritmi	61-67
Sharifjanova Nilufar Muratjanovna, Yakubov Maksadhon Sultaniyazovich, Nurilla Ergashvaevich Mahamatov, ALGORITHM FOR LOCAL LOOP OPTIMIZATION OF MULTISTAGE FLOTATION PROCESSES	68-75
Rashidov Akbar Ergash o'g'li, Axatov Akmal Rustamovich, Nazarov Fayzullo Maxmadiyarovich, ICHKI TAQSIMLASH MEXANIZMIDA MA'LUMOTLAR OQIMLARINI BOSHQARISH ALGORITMI	76-82
Beglerbekov Rasul Jubatxanovich, Babanazarov Danil Jandullayevich, INFORMATIV BELGILAR FAZOSIDA TIMSOLLARNI TANIB OLISH VA ULARNI SHAKLLANTIRISH ALGORITMI	83-86
Kuvandikov Yokub Tursunbayevich, KULTIVATOR O'QYOYSIMON PANJALARINING YEYILISHINI O'RGANISHDA AXBOROT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH	87-90
Горовик Александр Альфредович, Лазарева Марина Викторовна, Моделирование алгоритмов взаимодействия обучаемого с обучающими курсами	91-100
Yakubov Maqsadxon Sultaniyazovich, Uzakov Barxayotjon Muhammadiyevich, Xoshimov Baxodirjon Muminjonovich, FARG'ONA NEFTNI QAYTA ISHLASH ZAVODI UCHUN AVTOMATLASHTIRILGAN TIZIMINI MATEMATIK MODEL VA ALGORITMLASH JADVALINI REJALASHTIRISH VAZIFALARI	101-108
Мелиев Фарход Фаттоевич, Мелиев Фатто Мухаммадиевич, Обнаружения объектов на гистологических изображениях на основе сопоставления шаблонов	109-113
Sharibayev Nosirjon Yusubjanovich, Kayumov Ahror Muminjonovich, TRIKOTAJ TO'QIMALARINING STRUKTURASINI KOMPYUTER KO'RISH TEXNIKASI ASOSIDA TASNIFLASH	114-118
Mirzakarimov Baxtiyor, Mamadalieva Lola, Xayitov Azizjon, DEVELOPMENT OF A HYBRID ENERGY COMPLEX WITH MICRO-HYDRO AND SOLAR POWER IN UZBEKISTAN	119-123
Turakulov Otabek Xolmirzayevich, Mamaraufov Odil Abdixamitovich, Do'ztmuxammedova Munira Farxodovna, IJTIMOY MEDIA STRUKTURALANMAGAN MATNLI MA'LUMOTLARINI QAYTA ISHLASHDA TASNIFLASH MASALASI	124-128
Xalilov Muxammadmuso Muxammadyunosovich, Dalibekov Lochinbek Rustamovich, Murodullayeva Rayxona Abduraxmon qizi, OPTIK TOLALARDA SIGNALLARNI YO'QOLISHINI OLDINI OLISH VA AXBOROT XAVFSIZLIGI TA'MINLASH	129-131
Uzakov Barxayotjon Muhammadiyevich, NEFTNI QAYTA ISHLASH KORXONALARI FAOLIYATI BOSHQARUV TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH	132-139
Umarov Xasan Abdullayevich, INTERPOLYATSIYA MASALALARINI YECHISH VA TAHLIL QILISHDA LAGRANJ USULI	140-142
Abduraxmanov Ravshan Anarbayerovich, TASVIR GISTOGRAMMALARINING TAHLILI VA STATISTIK MA'LUMOTLARI	143-145
Логинов Павел Викторович, Акбаров Нодирбек Аскаралиевич, Хамидов Саиджон Собитжон угли, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЕ ГРУНТОВ	146-151
Rayimjonova O. S., Nurdinova R. A., BOSHQARISH VA NAZORAT QILISH SISTEMALARI UCHUN ISSIQLIK O'ZGARTIRGICHLARNI TADQIQ QILISH	152-157
Asrayev Muhammadmullo Abdullajon o'g'li, G'oiyeva Xumora Qobiljon qizi, Abdurasulova Dilnoza Botirali qizi, QO'LYOZMA TASVIR BELGILARINIG NEYRON TARMOQLAR ORQALI TAQQOSLANISHI	158-161
Xoshimov Baxodirjon Muminjonovich INTELLEKTUAL BOSHQARISH TIZIMLARI YORDAMIDA NEFTNI REKTIKATSIYA JARAYONINI BOSHQARISH	162-168
Kurbanov Abduraxmon Alishboyevich, INSON TANASI HARAkatLARINI TAHLIL QILISHDA ZAMONAVIY MODELLAR VA ALGORITMLARNI QO'LLASHNI O'RGANISH	169-175
Dalibekov Lochinbek Rustambekovich, PAXTANI BIRLAMCHI QAYTA ISHLASH JARAYONIDA KUCHLI ELEKTROSTATIK MAYDONLARNI YARATISH UCHUN MUQOBIL ENERGIYA MANBALARIDAN FOYDALANISH IMKONIYATI	176-180
Mirzayev Jamshid Boymurodovich, KORXONA VA TASHKILOTLARDA AXBOROT XAVFSIZLIGI RISKLARINI BAHOLASH USULLARINI TAHLILI	181-184
Jo'rayev Mansurbek Mirkomilovich, Nozik sug'orish tizimlari monitoring qilishda ma'lumotlarni uzatish texnologiyalar tahlili	185-188

MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS

Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Sattarov Maxammadjon Fozil o'g'li, SOG'LIQNI SAQLASHNI AVTOMATLASHTIRISH: BEMOR TAJRIBASINI YAXSHILASH YO'LI	189-195
Husniya Akhmedova, ORGANIZATION OF WORD SEARCH IN UZBEK TEXTS BASED ON BOYER-MOORE-HORSPPOOL ALGORITHM	196-201
Shamsiev Kalibek Saribaevich, Oybek Bektoshev Qosimjon ug'li, SIKLON REJIM KO'RSATGICHLARINING SAMARADORLIKGA TA'SIRINI O'RGANISH NATIJALARI	202-205
Otaqulov Oybek Xamdamiyev, Nabiyev Iskandar Farxodjon o'g'li, Nabiyeva Maysaraxon Shuxratjon qizi, CHIZIQLI VA AFFIN MODELARI YORDAMIDA SENSORLAR TAHLIL QILISH	206-209
Umurzakova Dilnoza Maxamadjanovna ISSIQLIK ENERGETIKA OBYEKTLARINING TEXNOLOGIK PARAMETRLARINI NORAVSHAN-MANTIQIY BOSHQARISH MODELARINI ISHLAB CHIQUV	210-219
Якубов Максадхан Султаниязович, Хошимов Баходиржон Муминжонович, Узаков Бархаётжон Мухаммадиевич, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ	220-228
Sattarov Nosirbek Abdulhodi o'g'li, Jo'rayev To'xtamurod Ixvoljon o'g'li, Sadikova Munira Alisherovna, TASVIR KONRASTINI KUCHAYTIRISH ALGORITMLARI	229-231
Исроилов Шаробиддин Махаммадюсуфович, Набиев Искандар Фарходжон ўғли, К ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИИ КОНТАКТНОЙ ДОРОЖКИ НАГРЕВА АВТОМОБИЛЬНОГО СТЕКЛА	232-236
Садикова Мунира Алишеровна, Зиятдинов Марсель Ринатович, ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИГРОВОЙ ИНДУСТРИИ	237-241
Okhunov Dilshod Mamatjonovich, Okhunov Mamatjon Xamidovich, Muminov Kamolkhon Ziyodjon ugli, Muhtoriddinov Muhammadyusuf Temirhon ugli, THE CONCEPT OF MARKETING AT IT INDUSTRY ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF THE ECONOMY	242-248
Камилов Мирзаян Мирзаахмедович, Худайбердиев Мирзаакбар Хаккулмирзаевич, Алимжанова Ойимбуш Собиржон кизи, Процесс моделирования спроса на товары с использованием алгоритмов машинного обучения	249-254
Radjabov Sobirjon Sattorovich, Dadaxanov Musохон Xoshimxonovich, Mardiyev Azamat Shakar o'g'li, QO'LYOZMA MATNI TASVIRI SIFATINI OSHIRISHNING SAMARALI ALGORITMINI TANLASH	255-260
Yuldasheva Nafisa Salimovna, SHAXSNI OVOZI ASOSIDA IDENTIFIKATSIYALASH TIZIMINING ASOSIY MASALALARI	261-267
Nishanov Akram Xasanovich, Beglerbekov Rasul Jubatxanovich, Babanazarov Danil Jandullayevich, BELGILAR ASOSIDA QOVUN NAVLARINI XUDUDLAR BO'YICHA TASNIFLASH MASALASI, UNING MATEMATIK IFODALANISHI VA ALGORITMI	268-273
Мирзаева Малика Бахадировна, Сулейманов Анвар Аскарлович, К АНАЛИЗУ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ	274-280
Керимов Комил Фикратович, Азизова Зарина Ильдаровна, Анализ трафика сети с применением алгоритмов машинного обучения в автоматизированной информационной системе быстрого реагирования на инциденты информационной безопасности и фильтрации трафика сети	281-285
Otaqulov Oybek Xamdamiyev, Azamxonov Bahodir Saitekamolxonovich, Nabiyev Iskandar Farxodjon ugli, TEORETICHESKIE OSNOVY ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК В АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	286-290
Djabbarov Dilshod Turdikulovich, Asrayev Muhammadmullo Abdullajon o'g'li, G'oiyeva Xumora Qobiljon qizi, VIDEO TASVIRLARDA INSON KO'ZLARINI ANIQLASH UCHUN CHUQUV O'RGANISH ALGORITMLARIDAN FOYDALANISH	291-295
Kabildjanov Aleksandr Sabitovich, Pulatov G'iyos Gofurjonovich, Pulatova Gulxayo Azamjon qizi, OB-HAVO SHAROITLARINING YURAK-QON TOMIR KASALLIKLARIGA TA'SIRINI ANIQLASHNING ANALITIK TAXLILI	296-300
Tojjeva Feruza, Xamdamiyev Utkir, MACHINE LEARNING ALGORITHMS ANALYSIS FOR NETWORK TRAFFIC CLASSIFICATION	301-305
Nabijonov Ravshanbek Muxammadjon o'g'li, Nabiyev Iskandar Farxodjon o'g'li, Nabiyeva Maysaraxon Shuhratjon qizi, AQLLI SVETOFOR TIZIMINI LOYIHALASH	306-310
Baxtiyor Mirzakarimov Abdusolomovich, Sidiqov Azizbek Abdullo o'g'li, O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI TZIMIDAGI TA'LIM MUASSASALARIDA O'QUVCHILAR MA'LUMOTLAR BAZASINI SHAKLLANTIRISH MASALALARI	311-317
Komilov Abdullajon Odiljon o'g'li, Nur diodlarining ulanish sxemalari va ishlash rejimlari	318-321
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Samatova Zarnigor Nematovna, KIBER XAVFSIZLIK MUAMMOLARI VA UNI TA'MINLASH USULLARI	322-326
Nabijonov Ravshanbek Muxammadjon o'g'li, Nabiyev Iskandar Farxodjon o'g'li, Nabiyeva Maysaraxon Shuhratjon qizi, ISHLAB CHIQUV KORXONALARIDA PAST MALAKALI ISHCHILAR VA ROBOTLAR O'RTASIDAGI FARQLARNI TAHLIL QILISH	327-329
Soliev Bakhromjon Nabijonovich, Real-Time Moving Object Detection from Video Streams in Python: Techniques and Implementation	330-335
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Soliev Bakhromjon Nabijonovich, Ermatova Zarina Qakhramonovna, Enhancing Clarity with Techniques for Recognizing Blurred Objects in Low Quality Images Using Python	336-340

Оптимизация режимов работы объектов возобновляемой энергетики для обеспечения энергией сельского хозяйства

Лазарева Марина Викторовна,

Доцент кафедры «Компьютерные системы» Ферганского филиала
Ташкентского университета информационных технологий
им.Мухаммада аль-Хорезми
laza2006@gmail.com

Порубай Оксана Витальевна,

Старший преподаватель кафедры «Информационные технологии»
Ферганского филиала Ташкентского университета информационных
технологий им.Мухаммада аль-Хорезми
oksanaporubay@gmail.com

Аннотация: В данной статье рассматриваются основные режимы потребления электроэнергии в энергосистеме, учитывая их сезонную изменчивость. Задача решается с применением методов линейного программирования, продукционных правил «IF, ... THEN, ...» и математического моделирования для планирования режимов работы электроэнергетических объектов. В исследовании установлено, что электропотребители определенных регионов Узбекистана, сталкиваясь с дефицитом электроэнергии, могут самостоятельно вводить в эксплуатацию дополнительные источники энергии, такие как ветроэнергетические установки, солнечные фотоэлектрические станции и системы накопления энергии. Проведен полный анализ установившихся режимов работы электроэнергетической системы. При проведении анализа учитывалось как напряжение в узлах, так и потери активной мощности в сети. Создан алгоритм оптимизации функционирования электроэнергетических объектов, основанный на использовании возобновляемых и альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: алгоритм оптимизации, линейное программирование, возобновляемые источники энергии, альтернативные источники энергии, гидроэлектростанции, ветряные электростанции, солнечные электростанции.

ВВЕДЕНИЕ

В современной энергетике республики Узбекистан возобновляемые и альтернативные источники энергии становятся все более значимыми в обеспечении электроснабжения потребителей. Одновременно с этим возникают сложности во взаимодействии между альтернативными и возобновляемыми источниками генерации и электропотреблением. Это объясняется изменением требований к балансу мощности в различных режимах из-за неопределенности в генерации энергии от различных источников и потребности в использовании энергонакопителей. Поэтому, для

эффективного планирования и оптимизации работы электроэнергетических систем (ЭЭС) с активным использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая альтернативные (АИЭ), требуется повышенный уровень интеллектуализации в процессах производства, передачи и распределения электроэнергии.

Можно назвать многих зарубежных ученых, которые внесли значительный вклад в научные исследования, связанные с планированием и выбором оптимальных режимов работы электроэнергетических объектов, а также в развитие и применение альтернативных и



возобновляемых источников энергии. Это А.Пегат, М.Сугено, Л.А.Заде, Р.А.Алиев, К.А.Пупков, С.Н.Васильев, Н.Н.Востриков, Е.В.Цветков, Г.П.Плетнев, Э.К.Аракелян, В.Я.Ротач. В Узбекистане такие исследования проводили Т.Х.Насиров, Х.Ф.Фозилов, Р.А.Зохидов, К.Р.Аллаев, Т.Х.Насиров, А.Р.Марахимов, Ш.М.Гулямов, М.М.Камилов, Д.Т.Мухаммадиева, И.Х.Сиддиқов, М.А.Исмаилов, Т.Ш.Гаилов и др. Поэтому возросший интерес к технологиям, использующим возобновляемые источники энергии, привел к постоянному уменьшению затрат на производство, передачу и потребление энергии [1, 2]. Тем не менее, возникает сложность в регионах, где энергетические ресурсы находятся вдали от основных центров потребления. Здесь присутствуют трудности, связанные с передачей электроэнергии на значительные расстояния. Это усложняет экономическую целесообразность использования таких источников энергии.

Необходимо разработать гибридную энергетическую систему, основанную на возобновляемых источниках энергии. Этот процесс включает в себя технико-экономическое обоснование, моделирование, симуляцию процессов, а также интеграцию нескольких гибридных источников энергии и системы хранения энергии для обеспечения автоматизированной и надежной работы системы электроснабжения [3, 4].

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

В наше время, особенно в эпоху "умных сетей" (Smart Grid), вопрос об оптимальном управлении производством и потреблением электроэнергии в современных распределительных системах становится крайне актуальным. Принимая во внимание высокую долю использования возобновляемых источников энергии, что может привести к серьезным проблемам с балансировкой системы, интеграция этих источников энергии с помощью интеллектуальных технологий в сеть Smart Grid является наиболее перспективным методом для

повышения устойчивости и надежности работы энергосистемы. Этот подход считается оптимальным с точки зрения экономических затрат, так как инициативы, такие как "Энергия для всех", используют умные и встроенные системы для создания современных энергетических услуг в отдаленных прибрежных, островных и горных районах, а также в сельских и периферийных местностях [5].

Исследования, направленные на оптимизацию работы энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии, а также на оценку технико-экономических аспектов обеспечения изолированных потребителей, включают в себя обширный анализ. В этих работах обосновывается эффективность присоединения к централизованной энергосистеме, либо рассматривается возможность использования местных малых источников энергии [6, 7].

Некоторые исследователи предлагают создание модели, используя математическое моделирование, чтобы проанализировать технические и экономические аспекты использования возобновляемых источников энергии. Целью является решение проблемы обеспечения непрерывного энергоснабжения. В [8, 9, 10] рассматривается теория дополнения гидро- и солнечной энергии, которая позволит решать некоторые проблемы непостоянной генерации солнечной энергии. Из-за изменчивости ветровых условий ученые объединили гидроаккумулирующие электростанции с ветровыми электростанциями для достижения оптимального взаимодополняющего режима работы и максимизации прибыли.

Для автономных энергетических систем необходимо разработать модели оптимизации управления децентрализованной генерацией, включая возобновляемые источники энергии. Эти модели позволят оптимизировать различные параметры работы сети. Работы [11, 12] посвящены разнообразным методам, оптимизирующим режимы работы электроэнергетических систем и сетей. Предлагается эффективный способ



определения оптимальных размеров для парков возобновляемой энергии и устройств хранения энергии в гибридной энергосистеме. Для поиска оптимальных решений применяется генетический алгоритм, который учитывает как параметры возобновляемых источников энергии, так и устройства для хранения энергии. В общем, процесс оптимизации можно классифицировать как одноцелевой или многоцелевой метод. В [13] предлагается метод оптимизации размеров парков возобновляемой энергии, а также экономический анализ, предназначенный для обеспечения зарядки до 50 000 электромобилей от сети. Однако в работе не проводится анализ процесса, ограничивающего влияние флуктуаций мощности возобновляемых источников энергии на коммунальную сеть. В работе [14] представлен метод, основанный на анализе экономических затрат и выгод, направленный на определение оптимального размера системы хранения энергии в малых гидроэлектростанциях, но в работе не уточнены соответствующие параметры для размера фермы возобновляемых источников энергии. Кроме того, в рамках рассмотренной системы накопления энергии, учтены только аккумуляторы, что может оказаться несостоятельным в условиях высоких колебаний мощности.

Необходимо заметить, что большинство предшествующих исследований в данной области сосредоточено на анализе краткосрочной эксплуатации энергосистем, преимущественно в случаях, когда требования к качеству производства электроэнергии кажутся не особенно важными. Исследование [15, 16] нацелено на изучение долгосрочной оптимизационной модели для гибридных гидро/фотоэлектрических систем, с учетом стабильности выходной мощности и общей генерации электроэнергии. Данную модель затем оптимизировали с использованием модифицированной версии генетического алгоритма Non-dominated Sorting Genetic Algorithm. Для улучшения дополнительных эксплуатационных характеристик крупномасштабной гибридной

гидроэлектростанции в [17] были разработаны методы долгосрочной стохастической оптимизации, учитывающие неопределенность как потока, так и выходной мощности фотоэлектрической установки. Создана многоцелевая оптимизационная модель, направленная на максимизацию общего производства энергии. Далее, модель была решена с использованием стохастического динамического программирования для получения операционных решений. Основное внимание в данном исследовании уделялось долгосрочной взаимодополняющей работе гибридных электростанций, объединяющих гидроэлектростанции и фотоэлектрические установки, с учетом неопределенности как в потоке воды, так и в мощности солнечной энергии.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Энергетический баланс и условия оптимальных режимов энергосистемы

Для анализа потенциала энергетических систем различных регионов Республики Узбекистан необходимо рассмотреть возможности использования альтернативных источников энергии в различные периоды суток. Отметим, что характер работы данной системы существенно различен в зимний и летний периоды: в зимнее время она сталкивается с дефицитом энергии, а летом, наоборот, обладает с избытком. С учетом этого для зимнего и летнего времени были выбраны по одному наиболее типичному дню. Для оптимизации режимов потребления электроэнергии использовались статистические данные о скорости ветра, солнечной инсоляции, производстве энергии на основе водных ресурсов, а также суточные графики нагрузки, характерные для выбранных дней. Это позволяет оценить возможности обеспечения электроэнергией суточного графика за счет производства гидроэлектростанцией (ГЭС).

Эффективность работы ветроэнергетической установки определяется скоростью ветряного потока, подверженного



значительным временным изменениям, а также воздействием погодных условий и особенностей местности. Зависимость между мощностью и скоростью ветра, проникающего через ометаемую площадь ветроустановки, описывается следующим математическим выражением:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 W_p (\mu), \quad (1)$$

здесь ρ (кг/м³) - является площадью воздушного потока. Площадь воздушного потока является зависимой от давления и температуры воздуха; A (м²) - является площадью поверхности, ометаемой лопастями; V (м/с) - является скоростью ветра; W_p - (безразмерная величина) - коэффициент эффективности ветроустановки; λ - коэффициент быстроходности.

Для этой энергосистемы выбрана общая мощность всех установленных ветрогенераторов, 10 МВт, что достигается через 6 ветроустановок с мощностью каждой в 1650 МВт. Согласно паспортным данным, начало генерации электроэнергии происходит при скорости ветра 4 м/с. Когда скорость достигает 15 м/с, то ветроустановки генерируют номинальную мощность. Интервал скоростей ветра от 15 до 50 м/с поддерживает номинальную мощность ветроустановок.

На рисунке 1 представлены данные о скорости ветра и солнечной инсоляции для одного зимнего дня в данном регионе.

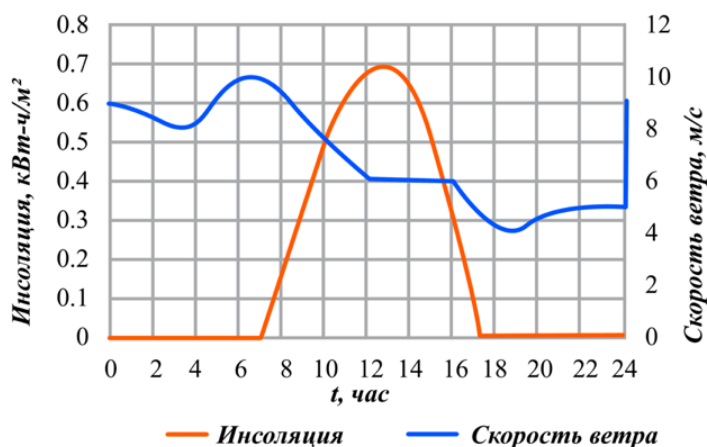


Рисунок 1 - Скорость ветра и солнечная инсоляция в типичный зимний день

График показывает, что наиболее высокие скорости ветра приблизительно совпадают с пиковыми значениями утренней электрической нагрузки. Это создает благоприятные условия для использования ветровой энергии в утренние часы. Наибольшее количество солнечной энергии приходится на период с 8 до 18 часов, что примерно совпадает с временем работы электрической нагрузки в обычный рабочий день. Общая мощность всех солнечных батарей составляет 6 МВт, коэффициент полезного действия равен 20,65%.

Исходя из данных, представленных на рисунке 2, учитывается производство электроэнергии гидроэлектростанциями и суточный график нагрузки, производимая мощность ветряным парком, а также выработка энергии солнечными батареями в типичный зимний день. На начало суток емкость аккумулятора энергии составляет 2000 кВт. Её распределение или сохранение оптимизируется в соответствии с алгоритмом оптимизации с целью уменьшения финансовых затрат электропотребителей.

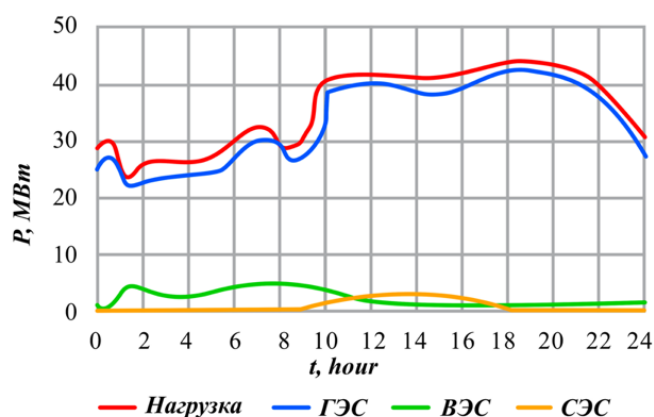


Рисунок 2 - Начальные данные энергетического баланса (типичный зимний день)

2. Формирование математической модели оптимального электропотребления



Основная цель работы заключается в предложении оптимального соединения 11 потенциалов большой и малой гидроэнергетики, а также ветровых и фотоэлектрических систем в форме гибридной системы с целью повышения надежности и уменьшения инвестиционных затрат [18].

Рассмотрим пример оптимизации структуры генерации энергии в отдельной системе электроснабжения с целью уменьшения расходов на производство электроэнергии. Такая система имеет уравнение баланса мощности:

$$P_{HPP} + P_{WPP} + P_{SPP} \pm P_{ES} = P_{EL} + \Delta P, \quad (2)$$

здесь P_{HPP} , P_{WPP} , P_{SPP} – мощность гидро-, ветро- и солнечных электростанций, соответственно; P_{ES} – мощность накопителей ЭЭ; P_{EL} – мощность, потребляемая нагрузочными узлами; ΔP – общие потери ЭЭ.

Запишем уравнение баланса мощности в интегральном виде:

$$\int_0^{24} P_{HPP}(t) \Delta t + \int_0^{24} P_{WPP}(t) \Delta t + \int_0^{27} P_{SPP}(t) \Delta t \pm \int_0^{24} P_{ES}(t) \Delta t = \int_0^{24} P_{EL}(t) \Delta t + \int_0^{24} \Delta P(t) \Delta t, \quad (3)$$

Финансовые расходы отдельного производителя электроэнергии могут быть снижены за счет минимизации целевой функции, при условии, что почасовые измерения мощности и энергии совпадают численно.

$$\sum_{i=0}^{24} T_i P_{HPP} + \sum_{i=0}^{24} T_i P_{WPP} + \sum_{i=0}^{24} T_i P_{SPP} \pm \sum_{i=0}^{24} T_i P_{ES} = \sum_{i=0}^{24} T_i P_{EL} + \sum_{i=0}^{24} T_i \Delta P, \quad (4)$$

здесь T_i – количество электроэнергии, потребляемое или вырабатываемое определенным источником энергии за каждый час времени.

Учитывая целесообразность минимизации финансовых затрат каждого отдельного потребителя электроэнергии, необходимо переписать выражение (4), учитывая индивидуальную стоимость каждого конкретного

источника энергии (альтернативного или возобновляемого).

$$\left(S_{HPP} \cdot \sum_{i=0}^{24} T_i P_{HPP} + S_{WPP} \cdot \sum_{i=0}^{24} T_i P_{WPP} + S_{SPP} \cdot \sum_{i=0}^{24} T_i P_{SPP} \pm S_{ES} \cdot \sum_{i=0}^{24} T_i P_{ES} \right) \rightarrow \min, \quad (5)$$

здесь величины являются: S_{HPP} , S_{WPP} , S_{SPP} – стоимостью электроэнергии, которая вырабатывается на ГЭС, ВЭС и СЭС; S_{ES} – стоимостью электроэнергии, которая аккумулируется на накопителях энергии.

Если имеется избыток энергии уравнение можно переписать для максимизации доходов.

$$\left(k \cdot S_{HPP} \cdot \sum_{i=0}^{24} I_i P_{HPP} + k \cdot S_{WPP} \cdot \sum_{i=0}^{24} I_i P_{WPP} + k \cdot S_{SPP} \cdot \sum_{i=0}^{24} I_i P_{SPP} \pm k \cdot S_{SE} \cdot \sum_{i=0}^{24} I_i P_{SE} \right) \rightarrow \max, \quad (6)$$

Здесь величины являются: I_i – избытком электроэнергии в i -й час для отдельного источника энергии; k – коэффициентом доходности, получаемым от продажи электроэнергии.

Кроме того, с учётом баланса мощности в часы пиковой суточной нагрузки, были выбраны накопители энергии для учета непредсказуемости генерации "зелёной энергии" [19]. Поэтому, приведенные уравнения решаются при ограничениях в форме следующих неравенств:

$$12,5 \leq P_{HPP} \leq 44,0 \text{ MBm}; \quad 0 \leq P_{WPP} \leq 10,5 \text{ MBm}; \\ 0 \leq P_{SPP} \leq 6,5 \text{ MBm}; \quad 0 \leq P_{ES} \leq 5,5 \text{ MBm}.$$

Гидроэлектростанция имеет ограничение мощности от 12 до 43,5 МВт, вызванное достижением минимального уровня водохранилища, при котором оно перестает обеспечивать электростанцию водой. Также возможность передачи электроэнергии в соседние страны может рассматриваться как дополнительный потребитель электроэнергии.

Важно отметить, что в данной системе баланс мощности и энергии также может быть урегулирован путем ограничения передачи мощности соседям. Однако следует учесть, что пока они не могут выступать источником выработки энергии.

3. Алгоритм решения поставленной задачи



При решении оптимизационных задач в технических системах необходимо выбрать математический метод, который позволит получить окончательные результаты с наименьшими затратами на вычисления или приведет к максимальному объему новой информации о наилучшем решении. Выбор метода обычно зависит от постановки задачи с целью оптимизации и математической модели. Известными методами являются такие методы как исследование функций на основе классического анализа, метод неопределенных множителей Лагранжа, вариационное исчисление, динамическое программирование, линейное программирование, нелинейное программирование, градиентные методы, и генетические алгоритмы.

Настоящая работа для оптимизации использует метод линейного программирования. Задачи линейного программирования находят условный экстремум функции при установленных ограничениях, причем экстремум целевой функции достигается на границе области допустимых решений. В общем, задача линейного программирования заключается в том, чтобы найти такой набор значений переменных, который обеспечивает экстремум линейной функции при определенных ограничениях, выраженных в виде равенств и неравенств.

В данной работе был разработан алгоритм для оптимального планирования выбора состава генерирующих источников на суточном временном интервале. Данный алгоритм основан на методе линейного программирования и учитывает определенные условия, представленные в виде правил, которые являются причинно-следственными связями, имеющими вид «IF, ... THEN, ...». Условия формулируются как равенства и неравенства.

Для гидроэлектростанции (ГЭС) правило продукции имеет вид:

$$IF (P_{HPP} < P_{EL}) THEN TP_{HPP} = P_{HPP} AND OP_{HPP} = 0$$

$$OTHERWISE TP_{HPP} = P_{EL} \text{ и } OP_{HPP} = P_{HPP} - P_{EL}$$

Рисунок 3 демонстрирует алгоритм решения задачи для данных правил.

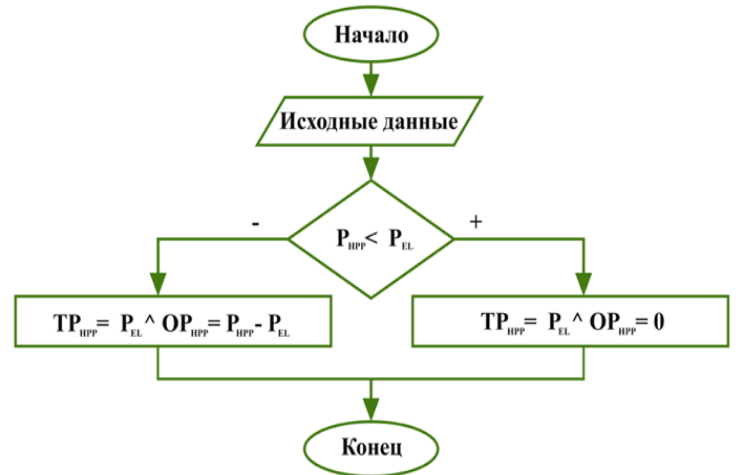


Рисунок 3 - Блок-схема процесса потребления электроэнергии, получаемой от гидроэлектростанции

Для ветряной электростанции (ВЭС) правило продукции имеет вид:

$$IF (TP_{HPP} < P_{EL}) THEN IF (P_{WPP} > 0) THEN IF (TP_{HPP} + P_{WPP} > P_{EL})$$

$$THEN TP_{WPP} = P_{EL} - TP_{HPP} AND OP_{WPP} = P_{WPP} - TP_{WPP}$$

$$OTHERWISE TP_{WPP} = P_{WPP} AND OP_{WPP} = 0 OTHERWISE TP_{WPP} = 0 AND OP_{WPP} = 0$$

$$OTHERWISE TP_{WPP} = 0 AND OP_{WPP} = P_{WPP}$$

Рисунок 4 демонстрирует алгоритм решения задачи для данных правил.

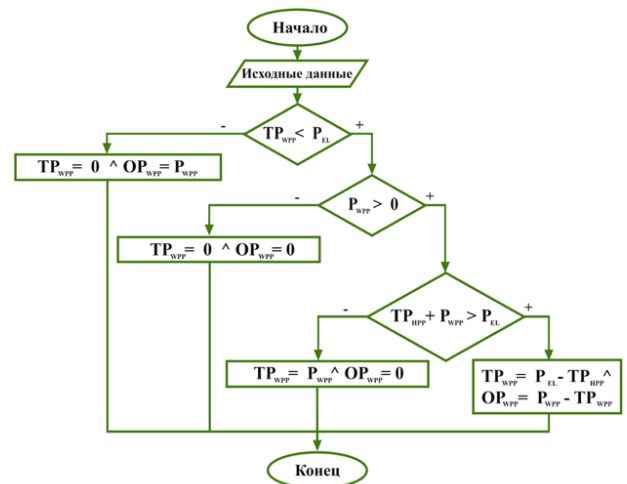


Рисунок 4 - Блок-схема процесса потребления электроэнергии, получаемой от ветряной электростанции

Для солнечной электрической станции (СЭС) правило продукции имеет вид:



IF $(TP_{HPP} + TP_{WPP} < P_{EL})$ THEN IF $(P_{SPP} > 0)$ THEN IF $(TP_{HPP} + TP_{WPP} + P_{SPP} > P_{EL})$ THEN $TP_{SPP} = P_{EL} - (TP_{HPP} + TP_{WPP})$ AND $OP_{SPP} = P_{SPP} - TP_{SPP}$ OTHERWISE $TP_{SPP} = P_{SPP}$ AND $OP_{SPP} = 0$ OTHERWISE $TP_{SPP} = 0$ AND $OP_{SPP} = 0$ OTHERWISE $TP_{SPP} = 0$ AND $OP_{SPP} = P_{SPP}$

Рисунок 5 демонстрирует алгоритм решения задачи для данных правил.

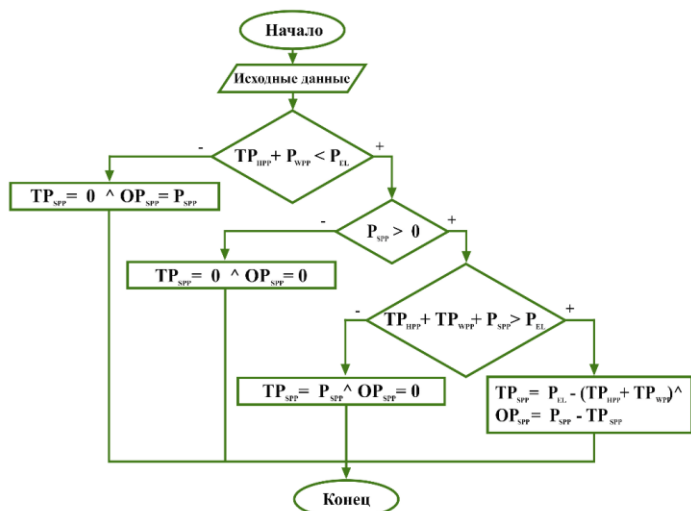


Рисунок 5 - Блок-схема процесса потребления электроэнергии, получаемой от солнечной электрической станции

Для накопителя энергии (НЭ) правило продукции имеет вид:

IF $(TP_{HPP} + TP_{WPP} + TP_{SPP} < P_{EL})$ THEN IF $(P_{ES} > 0)$ THEN IF $(TP_{HPP} + TP_{WPP} + TP_{SPP} + P_{ES} > P_{EL})$ THEN $TP_{ES} = P_{EL} - (TP_{HPP} + TP_{WPP} + TP_{SPP})$ AND $OP_{ES} = P_{ES} - TP_{ES}$ OTHERWISE $TP_{ES} = P_{ES}$ AND $OP_{ES} = 0$ OTHERWISE $TP_{ES} = 0$ AND $OP_{ES} = P_{ES}$

Рисунок 6 демонстрирует алгоритм решения задачи для данных правил.

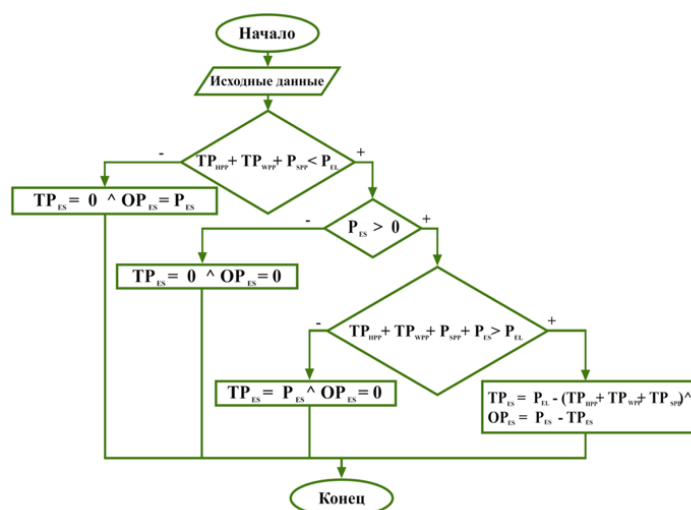


Рисунок 6 – Блок-схема процесса потребления электроэнергии, получаемой от накопителя энергии

Для накопителя электроэнергии разрабатываются индивидуальные правила для зарядки из различных альтернативных источников, учитывая ограничения в виде условий равенств и неравенств. При этом установлены следующие преимущества в накоплении энергии: в первую очередь энергия накапливается от гидроэлектростанций, затем от ветряных электростанций и, наконец, от солнечных электростанций.

Алгоритм зарядки накопителя энергии (НЭ) с помощью энергии, вырабатываемой ГЭС:

IF $(ESP_{ES} - P_{ES} > 0)$ THEN IF $(ESP_{ES} - P_{ES} \geq NP_{ES})$ THEN IF $(OP_{HPP} \geq NP_{ES})$ THEN $TP_{HPP1} = NP_{ES}$ AND $OP_{HPP} = OP_{HPP} - NP_{ES}$ AND $TP_{HPP} = TP_{HPP} + TP_{HPP1}$ OTHERWISE $TP_{HPP1} = OP_{HPP}$ AND $OP_{HPP} = OP_{HPP} - TP_{HPP1}$ AND $TP_{HPP} = TP_{HPP} + TP_{HPP1}$ OTHERWISE IF $OP_{HPP} \geq (ESP_{ES} - P_{ES})$ THEN $TP_{HPP1} = ESP_{ES} - P_{ES}$ AND $OP_{HPP} = OP_{HPP} - (ESP_{ES} - P_{ES})$ AND $TP_{HPP} = TP_{HPP} + TP_{HPP1}$ OTHERWISE $TP_{HPP1} = OP_{HPP}$ AND $OP_{HPP} = OP_{HPP} - TP_{HPP1}$ AND $TP_{HPP} = TP_{HPP} + TP_{HPP1}$ OTHERWISE $TP_{HPP1} = 0$ AND $OP_{HPP} = OP_{HPP} - TP_{HPP1}$ AND $TP_{HPP} = TP_{HPP} + TP_{HPP1}$

Алгоритм зарядки накопителя энергии с помощью энергии, вырабатываемой ВЭС:



IF ($ESP_{ES} - P_{ES} - TP_{HPP1} > 0$) THEN IF ($TP_{HPP1} < NP_{ES}$) THEN
IF ($ESP_{ES} - P_{ES} - TP_{HPP1} > NP_{ES}$) THEN IF ($OP_{WPP} > NP_{ES} - TP_{HPP1}$) THEN
 $TP_{WPP1} = NP_{ES} - TP_{HPP1}$ AND $OP_{WPP} = OP_{WPP} - TP_{WPP1}$ AND $TP_{WPP} = TP_{WPP} + TP_{WPP1}$
OTHERWISE $TP_{WPP1} = OP_{WPP}$ AND $OP_{HPP} = OP_{WPP} - TP_{WPP1}$ AND $TP_{WPP} = TP_{WPP} + TP_{WPP1}$
OTHERWISE IF $OP_{WPP} \geq (ESP_{ES} - P_{ES})$ THEN
 $TP_{WPP1} = ESP_{ES} - P_{ES} - TP_{HPP1}$ AND $OP_{WPP} = OP_{WPP} - TP_{WPP1}$ AND $TP_{WPP} = TP_{WPP} + TP_{WPP1}$
OTHERWISE $TP_{WPP1} = OP_{WPP}$ AND $OP_{WPP} = OP_{WPP} - TP_{WPP1}$ AND $TP_{WPP} = TP_{WPP} + TP_{WPP1}$
OTHERWISE $TP_{WPP1} = 0$ AND $OP_{WPP} = OP_{WPP} - TP_{WPP1}$ AND $TP_{WPP} = TP_{WPP} + TP_{WPP1}$
OTHERWISE $TP_{WPP1} = 0$ AND $OP_{WPP} = OP_{WPP} - TP_{WPP1}$ AND $TP_{WPP} = TP_{WPP} + TP_{WPP1}$

Алгоритм зарядки накопителя энергии с помощью энергии, вырабатываемой СЭС:

IF ($ESP_{ES} - P_{ES} - TP_{HPP1} - TP_{WPP1} > 0$) THEN IF ($TP_{HPP1} + TP_{WPP1} < NP_{ES}$) THEN
IF ($ESP_{ES} - P_{ES} - TP_{HPP1} - TP_{WPP1} > NP_{ES}$) THEN IF ($OP_{SPP} > NP_{ES} - TP_{HPP1} - TP_{WPP1}$) THEN
 $TP_{SPP1} = NP_{ES} - TP_{HPP1} - TP_{WPP1}$ AND $OP_{SPP} = OP_{SPP} - TP_{SPP1}$ AND $TP_{SPP} = TP_{SPP} + TP_{SPP1}$
OTHERWISE $TP_{SPP1} = OP_{SPP}$ AND $OP_{SPP} = OP_{SPP} - TP_{SPP1}$ AND $TP_{SPP} = TP_{SPP} + TP_{SPP1}$
OTHERWISE IF $OP_{SPP} \geq (ESP_{ES} - P_{ES})$ THEN
 $TP_{SPP1} = ESP_{ES} - P_{ES} - TP_{HPP1} - TP_{WPP1}$ AND $OP_{SPP} = OP_{SPP} - TP_{SPP1}$ AND $TP_{SPP} = TP_{SPP} + TP_{SPP1}$
OTHERWISE $TP_{SPP1} = OP_{SPP}$ AND $OP_{SPP} = OP_{SPP} - TP_{SPP1}$ AND $TP_{SPP} = TP_{SPP} + TP_{SPP1}$
OTHERWISE $TP_{SPP1} = 0$ AND $OP_{SPP} = OP_{SPP} - TP_{SPP1}$ AND $TP_{SPP} = TP_{SPP} + TP_{SPP1}$
OTHERWISE $TP_{SPP1} = 0$ AND $OP_{SPP} = OP_{SPP} - TP_{SPP1}$ AND $TP_{SPP} = TP_{SPP} + TP_{SPP1}$

Уравнения, описывающие процессы накопления и расхода энергии для накопителя на следующий час, представлены в следующей форме:

$$P_{ES}(+) = P_{ES} + TP_{HPP1} + TP_{WPP1} + TP_{SPP1} - TP_{ES} \quad (7)$$

Предложенная энергосистема основывается на гидроэлектростанциях, расположенных на малых реках, как основной источник генерации энергии. Она классифицируется как возобновляемый источник энергии, дополнительно используя ветряные и солнечные электростанции как альтернативные источники. Для балансировки нагрузки будет использоваться накопитель энергии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Предложенный алгоритм, основанный на правилах продукции, позволяет проводить расчеты для каждого дня в течение различных сезонов года. В данном случае, результаты оптимального электропотребления для типичного зимнего дня представлены на рисунке 7 в соответствии с выполненными расчетами.

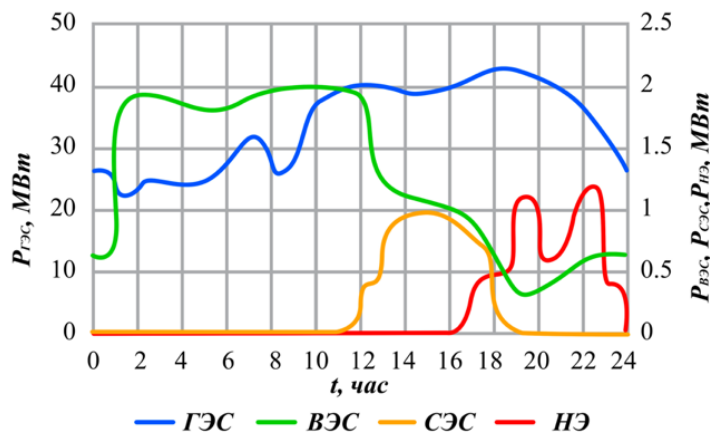


Рисунок 7 - Наилучший набор альтернативных источников энергии и систем накопления энергии

Алгоритм определяет оптимальный состав альтернативных источников и накопителей энергии для минимизации расходов на электропотребление следующим образом:

1. Включение в базовую нагрузку генерирующего источника с наименьшей стоимостью электроэнергии. В зимний период это гидроэлектростанции, а летом - солнечные электростанции.

2. Для покрытия пиковой нагрузки используется накопитель энергии или альтернативные источники энергии, если они могут обеспечить необходимую мощность.

Таким образом, алгоритм учитывает сезонные особенности и выбирает оптимальный состав источников энергии для минимизации расходов в зависимости от текущих потребностей в электроэнергии.

Исследование выявило, что в течение большей части суточного интервала возобновляемые источники энергии способны покрыть электропотребление, за исключением периодов утреннего и вечернего пиков нагрузки. В эти периоды возникает недостаток активной мощности, что приводит к ограничениям или временным отключениям электропотребителей. Решение этой проблемы предполагает установку накопителя энергии, который сможет обеспечить дополнительную генерацию сохраненной



электроэнергии с 17 до 23 часов. Высокая скорость ветрового потока наблюдается в утренние часы с 6 до 12, это достаточно для эффективного накопления энергии в накопителе. Относительно оптимального электропотребления в течение суток, режим работы энергонакопителя от различных источников генерации электроэнергии представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Режим работы энергонакопителя

Часы, ч	P_{HPP} , МВт	P_{WPP} , МВт	P_{SPP} , МВт
1	0	1.0	0
2	0	1.0	0
3	0	1.0	0
4	0	0.722	0
5	0	1.0	0
6	0	0.278	0
7	0		0
8	0		0
9	0	0	0
...
24	0	0	0

Важно сохранять энергию в аккумуляторах в основном в ночное время, так как это позволяет поддерживать уровень разряда литий-ионных аккумуляторов не ниже 20%, что способствует продлению их срока службы. Для минимизации финансовых затрат электропотребителей на один зимний день в течение суток, рекомендуется следующее сочетание альтернативных источников генерации и накопителей энергии (рисунок 8). Оптимальное управление электропотреблением на каждом часе в течение суток позволяет минимизировать финансовые затраты на электропотребление, как в целом для региона, так и для каждого отдельного потребителя ЭЭ, особенно если у него есть собственные источники альтернативной генерации электроэнергии. Такой подход представляет собой новую и инновационную концепцию для развития региона в кратчайшие сроки.

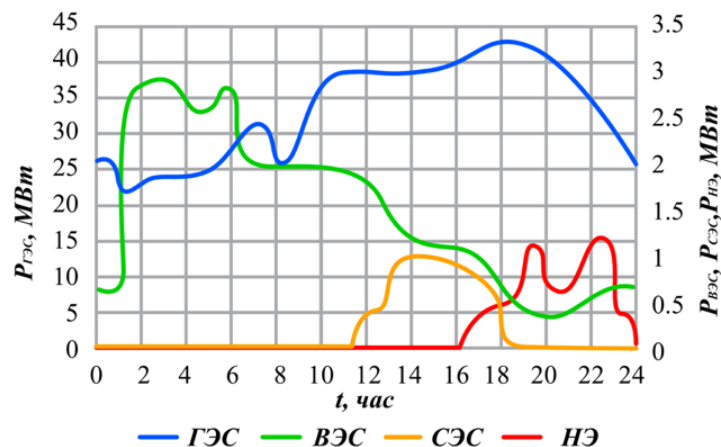


Рисунок 8 – График выбора источников и накопителей электроэнергии

Генерируемое количество электроэнергии от различных источников может превышать текущий спрос или потребление электроэнергии потребителями. Избыточный запас электрической энергии представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Избыточный запас электроэнергии

Часы, ч	P_{HPP} , МВт	P_{WPP} , МВт	P_{SPP} , МВт
1	0	0.861	0
2	0	0.34	0
3	0	0.03	0
4	0	0	0
5	0	0.463	0
6	0	1.939	0
7	0	3.058	0
8	0	2.14	0.081
9	0	1.364	0.969
10	0	0.622	1.949
11	0	0.034	2.688
12	0	0	2.749
13	0	0	2.31
14	0	0	2.088
15	0	0	1.572
16	0	0	0.833
...
24	0	0	0

В результате проведенного исследования был выявлен оптимальный способ совместной работы возобновляемых и альтернативных источников энергии в рамках гибридной



энергетической системы. Этот метод направлен на минимизацию финансовых затрат и увеличение энергоэффективности в процессе эксплуатации. Проведенный анализ режимов потребления ЭЭ в отдельных регионах Республики Узбекистан, удаленных от центральных электростанций, выявил, что для эффективного управления потреблением ЭЭ по сезонам (зимний, весенний, летний, осенний), рекомендуется выбирать рабочие дни с максимальной нагрузкой. Было выявлено, что основная нагрузка в основном возникает в зимний и летний период, но в отличие от зимнего, в летнем периоде нагрузка потребителей может быть покрыта за счет использования водных ресурсов, с возможностью экспорта избыточной ЭЭ в соседние близлежащие регионы. Зимой ситуация существенно изменяется из-за необходимости отопления, подогрева воды и увеличенного освещения.

Предложенный алгоритм оптимизации режимов работы ЭЭО на основе возобновляемых и альтернативных источников энергии позволяет свести к минимуму финансовые затраты потребителей электроэнергии удаленных районов Республики. У них появляется возможность самостоятельно выбирать источник питания из возобновляемых (энергия ГЭС) и альтернативных (энергия ВЭС и СЭС) источников, в зависимости от сезона и погодных условий. Ключевую роль в балансировке электросети, рассматриваемой модели, играет наличие накопителя электроэнергии, что позволяет свести к минимуму возможные риски, которые могут возникнуть с резким отказом энергосистемы из-за их непредсказуемости и условий неопределенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы: 1) С точки зрения оптимизации распределения электроэнергии большое значение имеет оценка надежности гибридных систем генерации электроэнергии с использованием ВИЭ, отличающихся по структуре, системам управления,

используемым преобразователям и другим параметрам. Исследование проводилось с целью повышения экономической устойчивости интегрированных систем, использующих возобновляемые источники энергии. Это крайне важно для успешной интеграции различных возобновляемых источников энергии в глобальные усилия по борьбе с изменением климата, чтобы гарантировать доступность устойчивых и современных источников энергии. 2) В рассматриваемой энергосистеме использовались малые гидроэлектростанции, ветроэлектростанции и солнечные электростанции, сбалансированные накопителями энергии. Найдено оптимальное соотношение для зимнего потребления, в то время как летом гидроэлектростанции полностью покрывают электрическую нагрузку. 3) Предложенный алгоритм оптимизации энергопотребления на основе линейного программирования с переменными ограничениями позволяет минимизировать финансовые затраты генерирующих потребителей электроэнергии. Данная гибридная энергосистема была реализована и протестирована в отдельных регионах Республики Узбекистан. Представленные экспериментальные результаты демонстрируют возможность любого потребителя электроэнергии самостоятельно оптимизировать свои затраты для получения максимальной выгоды от обмена электроэнергией.

Литература

1. Abdullayev, T., & Xoitqulov, A. (2024, March). Development of a mathematical model of a temperature calibrator. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1). AIP Publishing.
2. Asanov, M. S., Safaraliev, M. K., Zhabudaev, T. Z., Asanova, S. M., Kokin, S. E., Dmitriev, S. A., ... & Ghulomzoda, A. H. (2021). Algorithm for calculation and selection of micro hydropower plant taking into account hydrological parameters of small watercourses mountain rivers of Central Asia. International Journal of Hydrogen Energy, 46(75), 37109-37119.



3. Gorovik, A., Lazareva, M., Khasanova, M., & Yuldosheva, D. Modelling algorithms for learner interaction with training courses. In E3S Web of Conferences (Vol. 508, p. 03013). EDP Sciences.
4. Ghulomzoda, A., Gulakhmadov, A., Fishov, A., Safaraliev, M., Chen, X., Rasulzoda, K., ... & Ahyoev, J. (2020). Recloser-based decentralized control of the grid with distributed generation in the Lahsh district of the Rasht grid in Tajikistan, central Asia. *Energies*, 13(14), 3673.
5. Khalilov, D., Bozorova, S., Khonturaev, S., Khoitkulov, A., Sotvoldieva, D., & Toshmatov, S. Self-learning system and methods of selection of weight coefficients of neural network. In E3S Web of Conferences (Vol. 508, p. 04011). EDP Sciences.
6. Umurzakova, D., Abdullayev, T., Khakimov, A., & Qadamova, Z. Development of automatic control system of drum boiler on the basis of fuzzy controller with pid-controller adaptation. In E3S Web of Conferences (Vol. 508, p. 01007). EDP Sciences.
7. Lawan, S. M., & Abidin, W. A. W. Z. (2020). A review of hybrid renewable energy systems based on wind and solar energy: modeling, design and optimization. *Wind Solar Hybrid Renewable Energy System*.
8. Lazareva, M., & Gorovik, A. (2023). Analysis of methods for developing educational computer games. In E3S Web of Conferences (Vol. 452, p. 07007). EDP Sciences.
9. Matrenin, P., Safaraliev, M., Dmitriev, S., Kokin, S., Eshchanov, B., & Rusina, A. (2022). Adaptive ensemble models for medium-term forecasting of water inflow when planning electricity generation under climate change. *Energy Reports*, 8, 439-447.
10. Mohseni, S., Brent, A. C., & Burmester, D. (2021). Off-grid multi-carrier microgrid design optimisation: The case of Rakiura–Stewart island, Aotearoa–New Zealand. *Energies*, 14(20), 6522.
11. Nazarov, M. 2020 Optimisation of power consumption modes of the autonomous electrical system with renewable and alternative energy sources. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2020. № 4(153). pp. 810-820.
12. Manusov, V., Beryozkina, S., Nazarov, M., Safaraliev, M., Zicmane, I., Matrenin, P., & Ghulomzoda, A. (2022). Optimal management of energy consumption in an autonomous power system considering alternative energy sources. *Mathematics*, 10(3), 525.
13. Porubay, O., Siddikov, I., Nashvandova, G., & Alimova, G. (2024, March). Synthesis of a control system for a two-mass electromechanical object. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3045, No. 1). AIP Publishing.
14. Porubay, O., Siddikov, I., & Madina, K. (2022, September). Algorithm for optimizing the mode of electric power systems by active power. In 2022 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) (pp. 1-4). IEEE.
15. Sekretarev, Y., Sulonov, S., & Nazarov, M. (2016, May). Optimization of long-term modes of hydropower plants of the energy system of Tajikistan. In 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (pp. 1-5). IEEE.
16. Siddikov, I., & Porubay, O. (2021). Neural network model of decision making in electric power facilities under conditions of uncertainty. In E3S Web of Conferences (Vol. 304, p. 01001). EDP Sciences.
17. Siddikov, I. K., & Porubay, O. V. (2022, June). Neuro-fuzzy system for regulating the processes of power flows in electric power facilities. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2432, No. 1). AIP Publishing.
18. Siddikov, I., Porubay, O., & Mirjalilov, O. (2022, December). An algorithm for optimizing short-term modes of electric power systems, taking into account the conditions of the nature of the probability of the information flow of data. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2373, No. 8, p. 082014). IOP Publishing.
19. Siddikov, I., Porubay, O., & Rakhimov, T. (2024). Synthesis of the neuro-fuzzy regulator with genetic algorithm. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 14(1).

