

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



4-SON 1(8)  
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, №4  
Vol.1, Iss.4, 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 Abdjalioviich,**

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

**Abdullayev Abdujabbor,**

Andijon mashinosozlik instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

**Qo'ldashev Obbozjon 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

Rasulov Akbarali Maxamatovich, Ibroximov Nodirbek Ikromjonovich, To'xtasinov Azamat G'ofurovich, NOYOB MIS METALL KLASTERLARINING GEOMETRIK TUZILISHINI KOMPYUTER EKSPERIMENTI ORQALI TADQIQ ETISH	7-11
Далиев Бахтиёр Сирожидинович, Решение уравнения Абеля методом оптимальных квадратурных формул	12-15
Saidov Mansurjon Inomjonovich, Tartiblangan statistikalarda baholarni topish usullari	16-21
Kayumov Ahror Muminjonovich, TRIKOTAJ TO'QIMASI TARKIBIDAGI IP XUSUSIYATLARI VA DEFORMATSIYAGA TA'SIRI	22-27
Muradov Farrux Abdukaxarovich, Kucharov Olimjon Ruzimurotovich, Narzullayeva Nigora Ulugbekovna, Eshboyeva Nodira Faxriddinovna, GAZLI ARALASHMALAR VA ZARARLI MODDALARNING ATMOSFERADA TARQALISHI MASALASINI YUQORI TARTIBLI APPROKSIMATSIYANI QO'LLAGAN HOLDA UNI SONLI YECHISH ALGORITMI	28-37
Maniyozov Oybek Azatboyevich, NAVIER-STOKES TENGLAMASINI KLASSIK HAMDA KLASSIK BO'LMAGAN YECHIMLARINI VA UNING O'ZIGA XOSLIGI	38-44
Tillavoldiyev Azizbek Otobek o'g'li, Tibbiy tasvirlarda reprezentativ psevdoobyektlarni segmentatsiyalash algoritmi	45-51
Fayziev Shavkat Ismatovich, Karimov Sherzod Sobirjonovich, Muxtarov Alisher Muxtorovich, DDoS hujumlarni aniqlashda neyron tarmoqlarga asoslangan gibrid modellarni ishlab chiqish	52-58
Rasulmuxamedov Maxamadaziz Maxamadaminovich, Shukurova Shohsanam Bahridin qizi, Mirzaeva Zamira Maxamadazizovna, MURAKKAB SHAKLLI, HAJMLI JISMLARNING ELASTOPLASTIK DEFORMATSIYASINING MATEMATIK MODELLARINI QURISH	59-63
Uzakov B.M., Melikuziyev M.R., TARELKALI TURDAGI REKTIFIKATSIYA KOLONNANING HARORAT KO'RSATKICHLARINI MOSLASHUVCHAN BOSHQARISH	64-72
Порубай Оксана Витальевна, Эволюционные алгоритмы в задачах оптимизации режимов работы региональных энергосистем	73-77
Musayev Xurshid Sharifjonovich, TRIKOTAJ TO'QIMA TASVIRLARINI ANIQLASH VA RAQAMLI ISHLOV BERISH USULLARI	78-81
Нурдинова Разияхон Абдихаликовна, ПОЛУПРОВОДНИКИ КАК МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕРМОГЕНЕРАТОРОВ В МЕДИЦИНЕ	82-85
Мовлонов Пахловон Ибрагимович, ДЕГРАДАЦИЯ СЭ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА И ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ	86-90
Севинов Жасур Усманович, Темербекова Барнохон Маратовна, Мамазаров Улугбек Бахтиёр угли, Бекимбетов Баходир Маратович, Синтез методов цифровой регистрации в системах сбора и обработки измерительной информации для обеспечения достоверности в информационно-управляющих системах	91-96
O.S.Rayimdjonova, ISSIQLIK VA OPTOELEKTRON O'ZGARTIRGICHLARNING ASOSIY TAVSIFLARI VA UMUMIY MASALALARI	97-100
Muradov Farrux Abdukaxarovich, Narzullayeva Nigora Ulugbekovna, Kucharov Olimjon Ruzimurotovich, Eshboyeva Nodira Faxriddinovna, ATMOSFERANING CHEGARAVIY QATLAMIDA GAZLI ARALASHMALAR VA ZARARLI MODDALARNING TARQALISHI MASALASINI O'ZGARUVCHILARNI ALMASHTIRISH USULI YORDAMIDA IFODALASH VA UNING SONLI YECHISH ALGORITMI	101-107
Акбаров Давлатали Егиталиевич, Акбаров Умматали Йигиталиевич, Кучкоров Мавзуржон Хурсанбоевич, Умаров Шухратжон Азизжонович, РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИММЕТРИЧНОГО БЛОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СЕТИ ФЕЙСТЕЛЯ ПО КРИПТОСТОЙКИМИ БАЗОВЫМИ ТАБЛИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМИ	108-113
Xolmatov Abrorjon Alisher o'g'li, Xoshimov Baxodirjon Muminjonovich, MAZUTNI REKTIFIKATSIYALASH QURILMALARINING VAKUUM YARATISH TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH	114-125
Goipova Xumora Qobiljon qizi, Dasturiy ta'minotdagi xatolarni avtomatik topish va tuzatish uchun o'qitiladigan algoritmlar	126-129
Xudoykulov Z.T., Xudoynazarov U.U., YETARLI GOMOMORFIK SHIFRLASH ALGORITMLARI YORDAMIDA AXBOROTNI KRIPTOGRAFIK HIMOYALASH	130-135
Калашников Виталий Алексеевич, ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОСЕВА СЕМЯН ПШЕНИЦЫ В МЕЖДУРЯДЬЯ ХЛОПЧАТНИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШАРНИРНО-ПОЛОЗОВИДНОГО СОШНИКА	136-143
Ermatova Zarina Qaxramonovna, To'qimachilik sanoatida Linter qurilmalarining ahamiyatini o'rganish va kuzatish	144-146
Tolipov Nodirjon Isaqovich, Madibragimova Iroda Mukhamedovna, ON A NON-CORRECT PROBLEM FOR A BIHARMONIC EQUATION IN A SEMICIRCLE	147-151
Xudoykulov Zarif Turakulovich, Qozoqova To'xtajon Qaxramon qizi, PRESENT YENGIL VAZNLI KRIPTOGRAFIK ALGORITMINING TAHLILI	152-157
D.S.Yaxshibayev, A.H.Usmonov, Yer osti sizot suvlari sathi o'zgarishini matematik modellashtirish va sonli tadbiq qilish	158-162

**MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS**

Tojimatov Dostonbek Xomidjon o'g'li, KIBERRAZVEDKA AMALIYOTIDA IOC, LOG VA DARK WEB MONITORING MA'LUMOTLARINING INTELLEKTUAL INTEGRATSIYASIGA ASOSLANGAN KIBERTAHDIDLARNI ERTA ANIQLASH MODELI	163-167
Mirzayev Jamshid Boymurodovich, MATNLI MA'LUMOTLARNI YASHIRIN UZATISHDA STEGANOGRAFIK USULLARDAN FOYDALANISH	168-172
Kabildjanov Aleksandr Sabitovich, Pulatov G'iyos Gofurjonovich, Pulatova Gulxayo Azamjon qizi, LSTM MODELI ASOSIDA OB-HAVO SHAROITLARINING YURAK-QON BOSIMI KASALLIKLARIGA TA'SIRINI BASHORATLASH	173-177
Erejevov Keulimjay Kaymatdinovich, SHAXSNI OVOZI ORQALI IDENTIFIKATSIYALASH ALGORITMLARI	178-183
Muxtarov Ya., Obilov H., OPERATOR USULI YORDAMIDA O'ZGARMAS KOEFFITSIENTLI CHIZIQLI DIFFERENSIAL TENGLAMALAR SISTEMASINI INTEGRALLASH	184-188
Tillaboev Muxiddinjon, PILLANI NAMLIGINI O'LCHISHNING OPTOELEKTRON QURILMASI	189-192
Atajonova Saidakhon Boratalievna, Khasanova Makhinur Yuldashbayevna, INTEGRATION OF HYBRID SYSTEM ANALYSIS METHODS TO IMPROVE DECISION-MAKING EFFICIENCY	193-196
Зулунув Равшанбек Мамагович, ТЕХНОЛОГИИ ROBOTIC PROCESS AUTOMATION В МЕДИЦИНЕ	197-200
Aliyev Ibratjon Xatamovich, Bilolov Inomjon Uktamovich, CREATING A MODEL OF THE FALL OF SOLAR ENERGY IN CERTAIN COORDINATES	201-204
Akbarov Xatam Ulmasaliyevich, Ergashev Dilshodbek Mamasidiqovich, RDB TOKARLIK DASTGOHIDA ISHLOV BERISH JARAYONINING MATEMATIK MODELINI YARATISH	205-209
Абдуллаев Темурбек Маруфжонович, Козлов Александр Павлович, Разработка интеллектуальной системы управления освещением на основе IoT - технологий	210-219
O'rinboevyev Johongir Kalbay o'g'li, Nugmanova Mavluda Avaz qizi, KLASSTERLASH USULLARI YORDAMIDA NUTQNI AVTOMATIK SEGMENTATSIYALASH	220-225
Dalibekov Lochinbek Rustambekovich, 5G TARMOQLARIDA MASSIVE MIMO TEXNOLOGIYASINI JORIY ETISHNING TAHLILI	226-232
Bozarov Baxromjon Ilxomovich, Fure almashtirishlarini taqribiy hisoblash uchun optimal kvadratur formulalar	233-235
Xusanova Moxira Qurbonaliyevna, TARMOQ QURILMALARIDA DEMILITARIZATSIYALANGAN ZONA (DMZ) NI SOZLASH ORQALI XAVFSIZLIKNI TA'MINLASH	236-239
Ravshan Indiaminov, Sulton Khakberdiyev, INTERACTION BETWEEN MAGNETIC FIELDS AND THIN SHELLS	240-244
Muradov Muhammad Murod o'g'li, Mobil aloqa tayanch stansiyalarini qayta tiklanuvchan energiya ta'minot manbalaridan foydalangan holda energiya bilan ta'minlash xususiyatlari	245-250
Kabildjanov Aleksandr Sabitovich, Pulatov G'iyos Gofurjonovich, Pulatova Gulxayo Azamjon qizi, OB-HAVO SHAROITLARINING YURAK QON BOSIMI KASALLIKLARIGA TA'SIRINI MLP MODELIDA OPTIMALLASHTIRISH	251-255
Okhunov Dilshod Mamatjonovich, Okhunov Mamatjon Xamidovich, Azizov IskandarAbdusalim ugli, Ismoilzhonov Abdullokh Farrukhbk ugli, THE USE OF BIG DATA IN THE DIGITAL ECONOMY	256-260
Abduraimov Dostonbek Egamnazar o'g'li, ELASTIKLIK NAZARIYASI MASALASIGA LIBMAN TIPIDAGI ITERATSION USULNI QO'LLASHNING MATEMATIK MODELI	261-266
Мамадалиев Фозилжон Абдуллаевич, Новый подход составления математической модели для определения параметров торможения автомобиля в экстремальных условиях эксплуатации	267-269
Nasriddinov Otadavlat Usubjonovich, FIZIK MASALALARNI MATEMATIK PAKETLAR YORDAMIDA MODELLASHTIRISH	270-272
Jo'rayev Mansurbek Mirkomilovich, Ro'zaliyev Abdumalikjon Vahobjon o'g'li, AVTOMATLASHTIRILGAN MONITORING TIZIMI SIMSIZ SENSOR TARMOG'IDA MA'LUMOTLARNI UZATISH	273-278
Shamsiyeva Xabiba Gafurovna, VIDEO MA'LUMOTLARGA ISHLOV BERISH VA KOMPYUTERLI KO'RISH ALGORITMLARINING APPARAT DASTURIY MAJMUI	279-284
Atajonov Muhiddin Odiljonovich, AVTONOM FOTOELEKTRIK MODULNI MODELLASHTIRISH	285-288
J.M. Kurbanov, S.S.Sabirov, J.J.Kurbonov, NANOKATALIZATOR OLIH TEXNOLOGIYASIDA "NAVBAHOR" BENTONITINI QURITISH VA KUYDIRISH JARAYONLARINING TERMOGRAVIMETRIK TAHLILI	289-293
Umarov Shukhratjon, Rakhmonov Ozodbek, ASSESSMENT OF THE LEVEL OF SECURITY AVAILABLE IN 4G AND 5G MOBILE COMMUNICATION NETWORKS	294-297
Soliyev Bahromjon Nabijonovich, Elektron tijorat savdolarini dasturiy yondashuvi tahlilida metodlar, matematik model va amaliy ko'rsatkichlar	298-302
Asrayev Muhammadmullo Abdullajon o'g'li, SINFLAR ORASIDAGI MASOFA, QAROR QABUL QILISH QOIDASI VA AJRATISH FUNKSIYASI	303-305

**MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS**

Polvonov Baxtiyor Zaylobidinovich, Khudoyberdieva Muxayyoxon Zoirjon qizi, Abdubannabov Mo'yudinjon Iqboljon o'g'li, Ergasheva Gulruksor Qobiljon qizi, Tohirjonova Zahro Shovkatjon qizi, Mamasodiqov Shohjahon, CHARACTERIZATION OF PHOTOLUMINESCENCE SPECTRUM OF CHALCOGENIDE CADMIUM-BASED SEMICONDUCTOR POLYCRYSTALLINE FILMS	306-315
Sharibayev Nosirjon Yusupjanovich, Musayev Xurshid Sharifjonovich, TRIKOTAJ TO'QIMALARINI REAL VAQT REJIMIDA ANIQLANGAN NUQSONLARNI TAHLIL QILISH	316-320
Эргашев Отабек Мирзапулатович, Асомиддинов Бекзод, СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	321-326
Djurayev Sherzod Sobirjonovich, Ermatova Zarina Qaxramonovna, YANGI KONSTRUKSIYADAGI MULTISIKLON QURILMASINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH	327-331
J.M. Kurbanov, S.S.Sabirov, J.J.Kurbonov, "NAVBAHOR" BENTONITINING MODIFIKATSIYALANGAN NAMUNASINI O'YUCH EMMda QIZDIRISH HARORATIGA QARAB TEKSTURA XUSUSIYATLARINING O'ZGARISHI	332-337
Sharibayev Nosirjon Yusubjanovich, Kayumov Ahror Muminjonovich, SINOV YORDAMIDA TRIKOTAJ MAXSULOTLARINI SHAKL SAQLASH VA DEFORMATSIYALANISH JARAYONLARINI MONITORINGI	338-343
Muminov Kamolkhon Ziyodjon o'g'li, Artificial Intelligence in Cybersecurity, Revolutionizing Threat Detection and Response Systems	344-347
Тажибаев Илхом Бахтиёрович, ОБРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ В РАДИОЧАСТОТНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	348-351
Karimov Sardor Ilhom ugli, Sotvoldiyeva Dildora Botirjon qizi, Karimova Barnokhon Ibrahimjon qizi, COMPARISON OF MULTISERVICE REMOTE SENSING DATA FOR VEGETATION INDEX ANALYSIS	352-354
Abdurasulova Dilnoza Botirali kizi, PNEUMATIC AND HYDRAULIC TECHNICAL TOOLS OF AUTOMATION	355-359
Абдукадиров Бахтиёр Абдувахитович, СПОСОБЫ НАСТРОЙКИ ВЕСОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ОБУЧЕНИИ ДАННЫХ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ	360-365
Turakulov Otabek Xolmirzayevich, Mamaraufov Odil Abdixamitovich, IJTIMOYI TARMOQLARDA ELEKTRON MATNLI MA'LUMOTLARNI TASNIFLASHNING NEYRON-NORAVSHAN ALGORITMI	366-370
Asrayev Muhammadmullo Abdullajon og'li, Muxtoriddinov Muhammadyusuf Temirxon o'g'li, REGIONS APPLICATIONS SYSTEMS RECOGNITION	371-373
Raximov Baxtiyor Nematovich, Yo'ldosheva Dilfuza Shokir qizi, Majmuaviy markazlashtirilgan tizimlarning arxitekturasi va funksiyalari	374-378
Нурилло Мамадалиев Азизиллоевич, Моделирование конфликтных ситуаций телевизионных изображений в процессе обработки видеoinформации	379-381
A.A. Otaxonov, ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНКА ФИШИНГОВЫХ URL-АДРЕСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	382-390
Akbarov Xatam Ulmasaliyevich, Ergashev Dilshodbek Mamasidiqovich, X12M MARKALI PO'LAT UCHUN TERMOSIKLLI ISHLOV BERISHNI AMALGA OSHIRISH PARAMETRLARI	391-396
Abdukodirov Abdvaxit Gapirovich, Abdukadirov Baxtiyor Abdvaxitovich, YUZ TASVIRLARINI GEOMETRIK NORMALLASHTIRISH ALGORITMINI ISHLAB CHIQISH	397-401
D.B.Abdurasulova, T.U.Abduhafizov, RAQAMLI IQTISODIYOTNING O'SISHI VA UNING TADBIRKORLIK FAOLIYATIGA TA'SIRI	402-405
Ibragimov Navro'zbek Kimsanbayevich, Hududiy oliy ta'lim muassasalarida raqobat ustunligini ta'minlashning diagnostik tahlil qilish uchun dasturiy ta'minot	406-413
Melikuziyev Azimjon Latifjon ugli, USING COMPUTER-SIMULATOR PROGRAMS IN TEACHING PARALINGUISTIC UNITS	414-417
Soliyev B.N., Ismoilova M.R., ELEKTRON TIJORATDA QAYTARILISHLARNI OPTIMALLASHTIRISH VA ULARNING NATIJALARI	418-421
Ergashev Otabek Mirzapulatovich, FUZZY RULE BASE DESIGN FOR NUMERICAL DATA ANALYSIS	422-428
Abdukadirova Gulbahor Xomidjon qizi, Abduqodirova Mohizoda Ilxomidin qizi, YUZ TASVIRLARIGA DASTLABKI ISHLOV BERISHDA NEYRON TARMOQ ALGORITMLARINI QO'LLASH SAMARADORLIGI	429-436
Садикова Мунира Алишеровна, ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ	437-444
Pulaton Sherzod Utkurovich, Djumaniyazov Otabek Baxtiyarovich, THE ROLE OF IoT TECHNOLOGIES IN MONITORING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES IN THE KHOREZM REGION	445-448
Mukhammadyunus Norinov, RESEARCH ON INCREASING THE BRIGHTNESS OF TELEVISION IMAGES	449-455
Arabboyev Alisher Avazbek o'g'li, DIFFIE-HELLMAN ALGORITMI VA XAVFSIZ KALIT ALMASHISH PROTOKOLLARI	456-458
Raximov Baxtiyor Nematovich, G'oiyova Xumora Qobiljon qizi, Ovoz tovushlari intellektual taxlili asosida videokuzatuz tizimini boshqarish	459-462

## Разработка интеллектуальной системы управления освещением на основе IoT - технологий

**Абдуллаев Темурбек Маруфжонович,**  
Доктор философии (PhD) по техническим наукам, ФФ  
ТУИТ им. Мухаммада аль-Хорезми, г. Фергана,  
Узбекистан.  
Email: temurbekm84@gmail.com

**Козлов Александр Павлович,**  
магистр ФФ ТУИТ им. Мухаммада аль-Хорезми, г.  
Фергана, Узбекистан.  
Email: 7alexpr4rker@gmail.com

**Аннотация:** Здания потребляют много энергии, и неэффективное освещение увеличивает затраты. В исследовании представлена система управления освещением на базе технологий Интернета вещей с PIR - и доплеровскими датчиками, датчиком внешнего света и адаптивными алгоритмами. Испытания в учебном помещении ФФ ТУИТ показали снижение энергопотребления на 36%. Это решение способствует созданию экологически умных зданий, что экономически выгодно и поддерживает устойчивое развитие городской инфраструктуры.

**Ключевые слова:** интеллектуальное освещение, микроконтроллер, датчик движения, энергоэффективность, система управления, дневной свет

### ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение становится приоритетом в архитектуре из-за значительного вклада этой сферы в мировое потребление ресурсов. Здания используют более половины мировой электроэнергии и около трети всей энергии, что делает их одними из наиболее энергозатратных [1]. Прогнозы Международного энергетического агентства (МЭА) указывают на возможное увеличение энергопотребления зданий на 50% к 2050 году, если не будут предприняты меры по повышению энергоэффективности [2]. Освещение играет ключевую роль в этой картине, потребляя 11–21% всей электроэнергии в жилых и коммерческих объектах, особенно в таких странах, как Узбекистан [3]. Это подчеркивает необходимость оптимизации управления освещением для снижения затрат и обеспечения комфорта. Современные технологии предлагают инновационные решения, включая умные системы освещения, которые объединяют светодиодные технологии (LED) с информационно-коммуникационными системами (ИКТ), такими как датчики движения [4]. Эти системы

адаптируются к условиям, таким как наличие людей и уровень естественного освещения, что позволяет экономить электроэнергию и улучшать качество жизни [5]. Автоматизация управления освещением становится важной частью концепции "умных зданий", позволяя динамически настраивать освещение в зависимости от условий окружающей среды [6]. Однако внедрение умных систем освещения сталкивается с проблемами, включая сложность управления множеством источников света, высокие требования к безопасности и экономическим ограничениям. Кроме того, беспроводные технологии могут увеличить задержки передачи данных и снизить качество освещения [7]. Для эффективного управления светодиодными системами в сложных условиях необходим системный подход, включая техническую, экономическую и организационную оптимизацию. Разработанная интеллектуальная система освещения подходит для различных типов зданий, таких как офисы и учебные заведения. Она включает светильники, датчики и распределённую беспроводную сенсорную сеть (WSN). Каждый светильник регулирует уровень освещения с



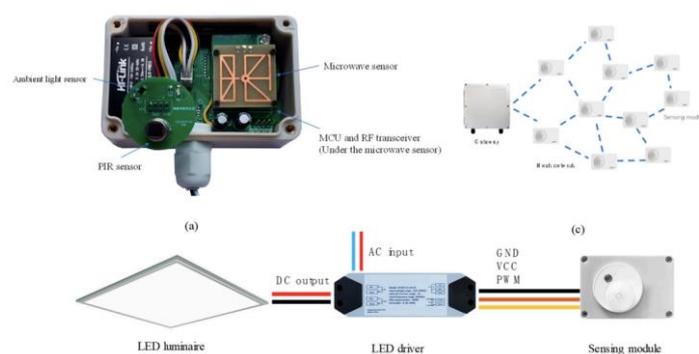
учетом данных о дневном свете и присутствии людей. Датчики окружающего освещения, размещённые на светильниках у окон, измеряют уровень естественного света и передают эту информацию через сеть. Для определения присутствия людей используются пассивные инфракрасные (PIR) датчики и микро-радарные сенсоры, работающие на основе эффекта Доплера. Для повышения точности и надёжности обнаружения был разработан алгоритм, который объединяет данные от обоих типов датчиков. Система организована в виде распределённой WSN, где каждый сенсорный модуль представляет собой отдельный узел сети. При обнаружении присутствия человека система затемняет не только светильник, связанный с активированным сенсором, но и соседние светильники, что позволяет устранить недостаток освещённости в прилегающих зонах. Предлагаемая интеллектуальная система освещения обеспечивает значительное сокращение энергопотребления в условиях реальной эксплуатации, повышая как её эффективность, так и комфорт для пользователей. [8].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Архитектура интеллектуальной системы освещения, основанная на микроконтроллере ESP32, представлена на рисунке 1. Как показано на рисунке 1(а), каждый светодиодный светильник включает сенсорный модуль, состоящий из одного или нескольких светодиодных источников. Каждый модуль оборудован двумя датчиками присутствия: PIR и микроволновым доплеровским датчиком, а также датчиком внешней освещённости, микроконтроллером ESP32. Как показано на рисунке 1(б), питание сенсорного модуля поступает от драйвера светодиодов, а уровень диммирования, который формируется сенсорным модулем, определяется значением сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для аналогового диммирования светодиодов. В сетевой топологии сенсорные модули взаимодействуют по беспроводной сети с использованием возможностей ESP32. На рисунке

1(в) сетевой узел представлен сенсорный модуль с соответствующим ему светодиодом. Все узлы в сети функционируют как маршрутизаторы и ведут свои таблицы соседей с одним переходом, идентифицируя соседей по значению индикатора уровня полученного сигнала (RSSI). Для каждых 500 узлов разворачиваются два шлюза, которые передают данные между сетью ESP32 и серверами. Передаваемые данные включают рабочие состояния светодиодов и команды для непосредственного затемнения группы светодиодов или отдельного светодиода.

В архитектуре системы драйвер светодиодов играет ключевую роль, и в данном случае используется драйвер постоянного тока с управлением яркостью на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Во-первых, он преобразует входящий переменный ток (AC) с частотой 50 Гц и напряжением 220В в регулируемый выходной постоянный ток (DC) для питания светодиодов.



**Рис. 1.** (а) беспроводной сенсорный модуль, (б) светодиодный светильник, управляемый сенсорным модулем через светодиодный драйвер, и (в) беспроводная ячеистая сеть, состоящая из сенсорных модулей и шлюза.

Во-вторых, драйвер предоставляет вспомогательное выходное напряжение для питания сенсорного модуля через контакты VCC и GND, как показано на рисунке 1(б). В-третьих, уровень затемнения, заданный стратегией управления освещением в микроконтроллере сенсорного модуля, преобразуется в аналоговый



сигнал, который подается на вход драйвера для регулировки яркости светодиода.

Целью данной работы является разработка системы управления, которая снижает энергопотребление освещения с помощью, масштабируемой и энергоэффективной сенсорной сети для коммерческого использования. Микроконтроллер ESP32, благодаря низкой стоимости, энергопотреблению и встроенной поддержке Wi-Fi и Bluetooth, оптимально подходит для реализации таких сетей. Его архитектура поддерживает физический уровень, управление доступом к среде, сетевой и прикладной уровни. Реализация выполнена с использованием ESP32, что обеспечивает надежную беспроводную связь и гибкость сети.

Датчики PIR и микроволновые доплеровские датчики часто используются для выявления объектов. PIR-датчик представляет собой электронный сенсор, который обнаруживает инфракрасное излучение, испускаемое объектами в его поле зрения. В данной системе применяется модель PIR HC-SR505, характеристики которой можно найти в Таблице 1. Когда человек входит в область обнаружения, выходное напряжение датчика достигает 5 В, и, когда он покидает эту зону, напряжение автоматически снижается до низкого уровня. Чувствительные цепи находятся в защищенном металлическом корпусе, что минимизирует воздействие внешних факторов, таких как шум, влажность и электромагнитные помехи. Микроволновый доплеровский датчик применяет эффект Доплера для обнаружения движущихся объектов. В системе используется модель MV-030, характеристики которой также указаны в Таблице 1. При обнаружении движения выходной контакт этого датчика переключается с низкого (0 В) на высокий (3,3 В) на срок 2–3 секунды, после чего возвращается в режим ожидания (низкий уровень).

**Таб. 1.** Технические характеристики датчиков.

Сенсор	Характеристики
PIR sensor (HC-SR505)	Рабочий диапазон температур: -20°C до +70°C Максимальный угол обнаружения: 100° Рабочая длина волны: 8-14 мкм
Microwave Doppler sensor (MD-030)	Рабочий диапазон температур: -20°C до +60°C Максимальный угол обнаружения: 110° Дистанция обнаружения: до 6 метров
Illuminance sensor (MAX44009)	Рабочий диапазон температур: -40°C до +125°C Диапазон измерения освещенности: 0-188,000 лк

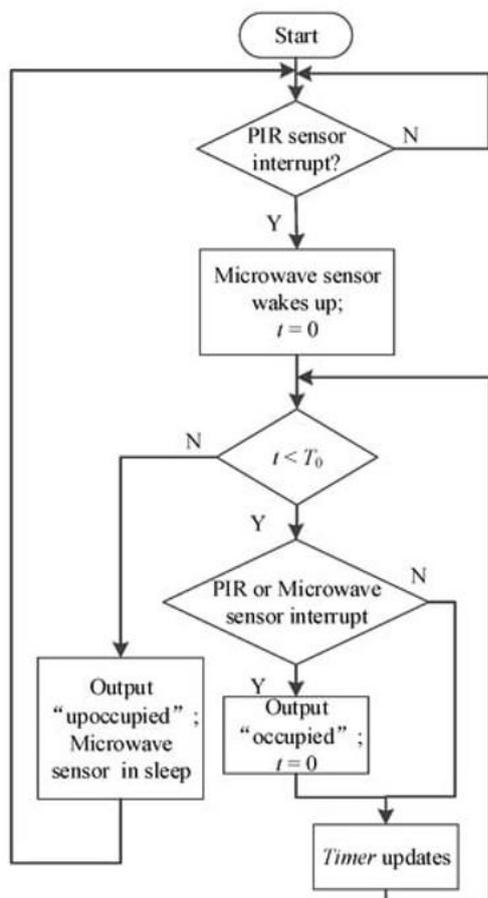
Для сокращения энергопотребления искусственное освещение в помещении может быть уменьшено за счет использования естественного света. Уровень дневного освещения определяется с помощью датчиков освещенности, которые измеряют интенсивность света во внешней среде и передают данные на микроконтроллер. Одним из часто используемых типов таких датчиков является фотодиод, чувствительный к солнечному свету. Например, датчик освещенности MAX44009 преобразует выходное напряжение в 16-разрядные цифровые данные, отражающие уровень освещенности. Такие датчики встроены в сенсорные модули, рядом с которыми размещены светодиоды, устанавливаемые вблизи окон. Значение естественной освещенности в момент времени  $t$ , измеренное датчиком  $m$ , закрепленным за светодиодом  $n$ , можно описать следующим образом:

$$d(t) = \begin{cases} y_m(t), & \text{if LED } n \text{ is switched off and } t \text{ is in daytime} \\ y_m(t) - u_n^L, & \text{if LED } n \text{ is switched on and } t \text{ is in daytime} \end{cases} \quad (1)$$

- где  $y_m(t)$  обозначает выходной сигнал датчика освещенности  $m$  в момент времени  $t$ , и  $u_n^L$  обозначает значение освещенности светодиода с уровнем затемнения  $L$ . Вклад светильников в освещенность датчика света упрощается как  $u_n^L$  что указывает на то, что учитывается только вклад светодиода  $n$ , совмещенного с датчиком освещенности  $m$ . Причина в том, что в течение дня



количество естественного света, поступающего из окна, будет относительно больше, чем количество света, исходящего от светодиодов. Ночью сенсорный модуль, содержащий датчик освещенности  $m$ , затемняет светодиод  $n$  на уровне  $L$ , при выключенных других светильниках, и собирает измеренное значение освещенности на датчике освещенности  $m$ . Поскольку вклады освещенности, обусловленные светильниками и дневным светом, являются аддитивными [15], можно получить уравнение (1). Для повышения точности обнаружения присутствия разработан метод объединения данных, собранных PIR-датчиком и микроволновым сенсором. На рисунке 2 представлена основная блок-схема этого метода.



**Рис. 2.** Блок-схема метода слияния данных с пассивными инфракрасными (ПИК) и микроволновыми датчиками.

Работа системы начинается с того, что микроволновый сенсор находится в выключенном состоянии, а PIR-датчик пассивно отслеживает

инфракрасное излучение. При попадании человека в зону действия PIR-датчик генерирует выходной сигнал высокого уровня, активируя микроволновый сенсор и одновременно запуская таймер. Пока микроволновый сенсор фиксирует присутствие, таймер сбрасывается и начинает отсчет заново. Если таймер достигает порогового значения  $T_0$ , считается, что зона не занята, после чего микроволновый сенсор переводится в режим ожидания.

После пробуждения микроволнового сенсора итоговый результат обнаружения определяется его выходным сигналом. Таким образом, объединение данных двух сенсоров позволяет компенсировать недостатки каждого из них, повышая общую точность и надежность системы.

Система управления освещением с разомкнутым контуром, которая отличается энергоэффективностью и простотой проектирования. Ключевым элементом системы является база правил, основанная на логике "если-то". На выходе правил задается уровень затемнения светодиодного светильника  $n$  в момент времени  $t$ , обозначаемый как  $O_n(t)$ . Входными параметрами для правил являются: состояние занятости  $p_n(t)$ , определяемое сенсорным модулем, подключенным к светодиоду  $n$ ; расписание  $s(t)$ ; местоположение  $r(n)$ ; расстояние между светодиодом  $n$  и окнами  $l(n)$ ; а также уровень дневного освещения  $d(t)$ . Управляющее правило может быть выражено следующей формулой:

$$O_n(t) = f(p_n(t), s(t), r(n), l(n), d(t)). \quad (2)$$

В уравнении (2) пользователь устанавливает расписание, которое определяет виды деятельности на разные временные отрезки. Местоположение светильника указывает на тип помещения, например, это может быть конференц-зал, кабинет руководителя или учебное пространство. Если светильник установлен в зоне, где осуществляется сбор дневного света, расстояние между ним и окнами определяет типы под зоны для сбора света, и это расстояние заменяется на соответствующий тип под зоны.



Параметры  $p_n(t)$  и  $d(t)$  определяются с помощью датчиков присутствия и освещенности, расположенных вблизи светодиода  $n$ . Поскольку освещенность в зоне светодиода  $n$  зависит от светового выхода соседних светодиодов, контроллер светодиода  $n$  обращается за помощью к своим соседям, отправляя запрос. Этот запрос включает два типа данных: адрес передатчика  $A_n$  и количество переадресаций  $T_c$ . Рассмотрим контроллер беспроводного сенсорного модуля  $m$ , представленный на рисунке 3. После получения запроса от светодиода  $n$  контроллер проверяет адрес  $A_n$  на совпадение с записями в своей соседней таблице, чтобы определить занятость  $m$ . Если совпадение найдено, что указывает на то, что  $m$  является непосредственным соседом  $n$ ,  $p_m(t)$  устанавливается в 1, а уровень затемнения  $o_m(t)$  рассчитывается по уравнению (2). Значение  $p_m(t) = 1$  означает, что зона  $m$  занята, а  $p_m(t) = 0$  — что она свободна. Затем контроллер  $m$  решает, следует ли продолжать пересылку запроса своим соседям. Если таймер  $T_c - 1 > 0$ , это указывает на необходимость помощи от соседей  $m$  для светодиода  $n$ . В этом случае модуль  $m$  отправляет новый запрос с адресом  $A_m$  и счетчиком переадресации  $T_c - 1$ . Как только таймер  $m$  запускается,  $p_m(T_0)$  устанавливается в 0, а  $O_m(T_0)$  сбрасываются до значений незанятого состояния. Контроллер  $n$  продолжает отправлять запросы, чтобы уведомить другие узлы о своей занятости.

Внутреннее пространство можно разделить на несколько зон, каждая из которых требует различных условий освещения. Например, на рисунке 4 представлено учебное помещение в ФФ ТУИТ с тремя типами зон: зоны А, В и С. Зона А вход в аудиторию, а зоны В и С — сидячие места учащихся. Зона В расположена около окон, что обеспечивает большой потенциал для сбора дневного света. Напротив, в зонах А и С отсутствует естественное освещение, и сбор дневного света в этих зонах невозможен.

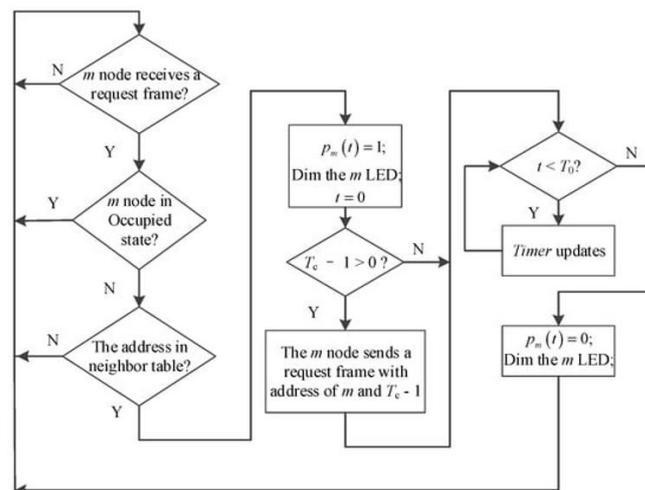


Рис. 3. Блок-схема управления освещением с помощью соседей узла  $m$ .

Более того, движение тела в зоне А обычно велико, что позволяет легко определить присутствие. Однако в зонах В и С часто происходят небольшие движения. Схема расположения датчиков приведена в таблице 2. При обнаружении людей и приглушении яркости соответствующего светодиода в соответствии с правилами также будут включены соседние светодиоды, как показано на рисунке 4.

Таб. 2. Расположение датчиков.

Зона	Тип сенсора
А	PIR – датчик
В	Датчик освещенности (возле окон) PIR – датчик и микроволновый датчик
С	PIR – датчик и микроволновый датчик

В зонах А и С, где сбор дневного света невозможен, при обнаружении присутствия устанавливается максимальное затемнение соответствующего светодиода и его соседей. В зоне В правила управления такие же, как для зон А и С на этапах 1, 6 (слабое дневное освещение) и этапе 4 (10% затемнение для обеденного перерыва). На этапах 2, 3 и 5 реализуется использование дневного света. Зона В разделена на две под зоны - Первичную зону (PZ) у окна и Вторичную зону (SZ) рядом с PZ. При обнаружении присутствия, уровень затемнения  $O_n^z(t)$  в каждой под зоной  $z \in \{PZ, SZ\}$  увеличивается на 40% до максимума 100%.





**Рис. 4.** Планировка учебного помещения в ФФ ТУИТ.

Уровень затемнения в PZ,  $O_n^{Pz}(t)$ , зависит от освещенности дневным светом.

$$O_n^{Pz}(t) = \begin{cases} 30\%, & l^D \geq 180 \text{ lx}, \\ 70\%, & 125 \text{ lx} \leq l^D < 180 \text{ lx}, \\ 100\%, & l^D < 125 \text{ lx}, \end{cases} \quad (3)$$

- где  $l^D$  представляет значение освещенности дневным светом, измеренное датчиками рядом с окнами в зоне В. Это значение передается всем сенсорным модулям в зоне В через беспроводную сеть. Если статус занятости - незанятый, значение  $O_n^{Pz}(t)$  в зоне В устанавливается на 10%, если не получены обновления от соседей.

**Таб. 3.** Правила управления освещением.

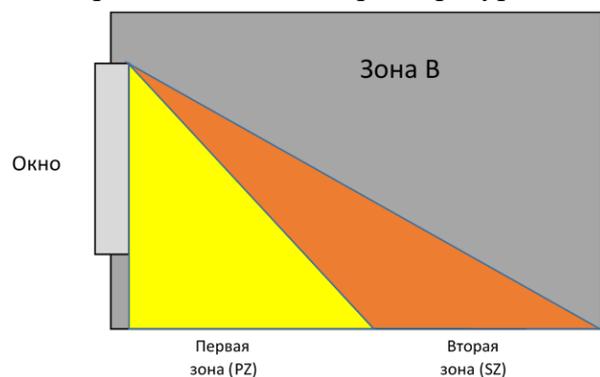
Этап	Время	Правило
1. Вне службы	С 21:00 р.м. до 6:00 а.м.	(1) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 1$ , тогда $o_n(t) = 100\%$ . (2) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 0$ , тогда $o_n(t) = 0\%$ .
2. Перед работой	С 6:00 а.м. до 9:00 а.м.	(1) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 1$ , тогда $o_n(t) = 100\%$ . (2) Для светильника п в

		Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 0$ , тогда $o_n(t) = 0\%$ . (3) В зоне В осуществляется сбор дневного света
3. Период активности	С 9 а.м. до 12:00 а.м.	(1) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 1$ , тогда $o_n(t) = 100\%$ . (2) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 0$ , тогда $o_n(t) = 10\%$ . (3) В зоне В осуществляется сбор дневного света
4. Перерыв на обед	С 12:00 а.м. до 13:00 р.м.	(1) $o_n(t) = 10\%$ .
5. Период активности	С 13:00 р.м. до 17:30 р.м.	(1) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 1$ , тогда $o_n(t) = 100\%$ . (2) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 0$ , тогда $o_n(t) = 10\%$ . (3) В зоне В осуществляется сбор дневного света
6. Работа сверхурочно	С 17:30 р.м. до 21:00 р.м.	(1) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 1$ , тогда $o_n(t) = 100\%$ . (2) Для светильника п в Зонах А, В и С, если $r_n(t) = 0$ , тогда $o_n(t) = 0\%$ .

Натурные измерения проводятся в два этапа: 1) Измерение  $l^D$  и освещенности в течение



дня при выключенном освещении. 2) Измерение освещенности столов при разных уровнях затемнения соответствующего и соседних светильников. Сначала определяются PZ и SZ, затем рассчитываются параметры уравнения (3).



**Рис. 5.** Подразделение зоны В по расстоянию до окна.

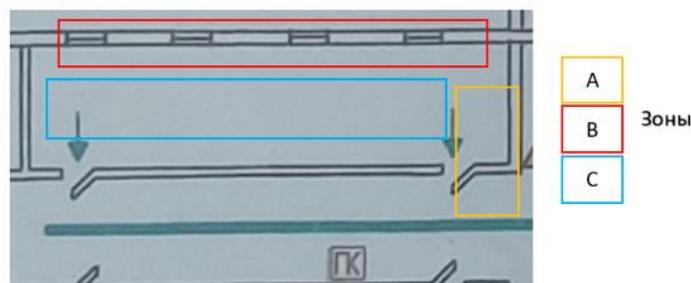
## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для тестирования был выбран сценарий: учебное помещение. Этот сценарий предусматривал испытание в учебном помещении в ФФ ТУИТ, чтобы проверить функциональность системы и оценить её адаптацию к условиям окружающей среды.

Тестирование предлагаемой интеллектуальной системы освещения проводилась в учебном заведении ФФ ТУИТ площадью 2700 м<sup>2</sup>, расположенном на третьем этаже здания в городе Фергана, Узбекистан. Освещённость на рабочей поверхности должна была составлять 300-500 лк. Все светильники в учебном помещении были светодиодными, их типы, мощность и количество указаны в таблице 4. В общей сложности для зон А, В и С использовались 10 линейных светильника. Датчик внешней освещённости был установлен в светильнике, ближайшем к окнам. Управляющие правила для системы освещения определялись уравнением (3).

На рисунке 6 представлены зоны А, В и С, задействованные в стратегии управления освещением. Зона А включала зону входа и выхода, расположенную в нижнем правом углу. Парты

находились в зонах В и С. Для освещения этих зон использовались 10 линейных.

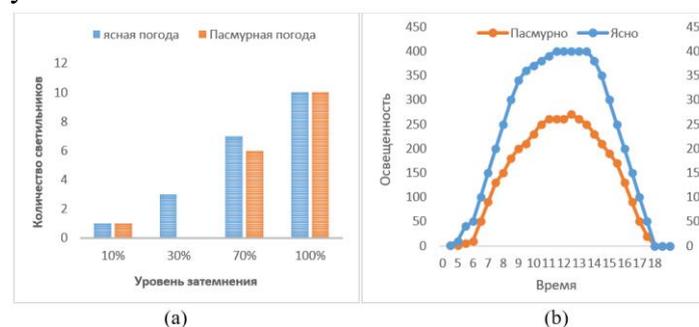


**Рис. 6.** Разделение самого большого учебного помещения для интеллектуального управления освещением: Зоны А, В и С в стратегии управления.

**Таб. 4.** Характеристики светильников в учебном помещении в ФФ ТУИТ.

Тип	Мощность (Вт)	Количество светильников
Линейный свет	40	10

Эффективность использования дневного света зависела от погодных условий. На рисунке 7(а) показано распределение уровней затемнения светильников в 10:00 утра в течение двух дней с разными погодными условиями: ясным небом и пасмурной погодой. При ясной погоде большее количество светильников работало с низким уровнем затемнения по сравнению с пасмурными условиями.



**Рис. 7.** Влияние погодных условий на использование дневного света: (а) распределение уровней затемнения в 10:00 утра при ясном и пасмурном небе и (б) значения датчиков освещенности в разное время.



Согласно рисунку 7(б), в более чем 80% рабочего времени (с 9:00 до 16:00) уровень освещенности, зарегистрированный датчиками, превышал 300 лк в ясную погоду и 200 лк в пасмурную. В таких условиях светильники затемнялись на 30% в первичной зоне (PZ) и на 70% во вторичной зоне (SZ). В оставшееся время уровень освещенности составлял от 100 до 200 лк в пасмурные дни и менее 100 лк в утренние или вечерние часы. Несмотря на хорошие условия дневного света при ясной погоде, многие светильники оставались полностью включенными (100% яркости), как показано на рисунке 7(а). Потребляемая мощность предлагаемой интеллектуальной системы освещения была проанализирована и сопоставлена с традиционной системой, где освещение включалось вручную в начале рабочего дня, когда первый контингент заходил в помещение, и выключалось в конце дня, когда последний контингент покидал здание. На рисунке 8 представлено потребление электроэнергии за один день в период с 8:00 до 22:00. После 18:30 начался период сверхурочной работы. В результате, с 9:00 до 18:00 потребление энергии в предлагаемой системе оставалось относительно стабильным. В среднем предложенная система позволила сократить потребление электроэнергии на 36% по сравнению с обычной системой освещения.

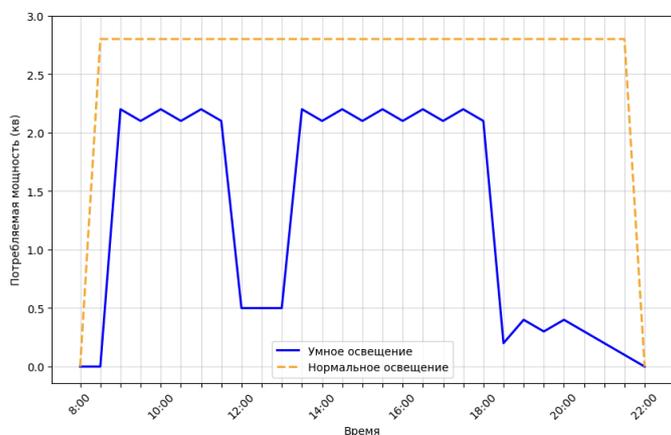


Рис. 8. Потребление электроэнергии на освещение в рабочее и сверхурочное время.

## ОБСУЖДЕНИЯ

В данном исследовании разработана интеллектуальная система управления освещением, предназначенная для регулирования уровня освещенности в помещениях. Основу системы составляют распределенные беспроводные сенсорные сети, которые включают модули с датчиками присутствия и датчиками внешней освещенности. Эффективность предложенной системы была проверена в условиях учебного помещения. Экспериментальные результаты подтвердили её высокую надёжность в реальных условиях эксплуатации. Анализ показал, что на энергоэффективность системы в учебном помещении влияют такие факторы, как погодные условия, целевые уровни освещенности, планировка рабочего пространства и количество сотрудников. Экономия электроэнергии составила около 36%, что несколько ниже показателя в 40%, указанного в [8] при аналогичных условиях (уровень освещенности 300–500 лк). Это отклонение связано с двумя основными факторами. Во-первых, неблагоприятные условия естественного освещения: 45% рабочих мест находились вдали от окон, что ограничивало доступ дневного света. Во-вторых, использовался контроллер с открытым контуром, работающий на основе заданной базы правил. Преимуществами такого контроллера являются низкая вычислительная сложность, быстрая реакция на изменения окружающей среды и снижение стоимости производства и обслуживания. Однако его основной недостаток заключается в отсутствии оптимизации энергопотребления. В рамках исследования также проводилась экспериментальная оценка точности обнаружения присутствия. Юнтунен и со авт. [7] предложили аналогичную стратегию управления освещением для уличной инфраструктуры, обеспечив экономию энергии в диапазоне 60–77% по сравнению с полным уровнем освещенности в тёмное время суток. Однако их результаты основывались на моделировании с использованием данных о присутствии и времени восхода и захода



солнца из метеорологических баз данных. В отличие от этого, в настоящем исследовании проводились полевые эксперименты с измерением энергопотребления в реальных условиях. При проектировании системы освещения важно учитывать не только энергоэффективность, но и пользовательский опыт, включая безопасность и комфорт. В целом, экспериментальные результаты подтверждают, что предлагаемая интеллектуальная система освещения эффективно управляет освещением на основе данных о присутствии и уровне дневного света, снижая энергопотребление в реальных условиях.

## ВЫВОДЫ

Разработанная система умного управления освещением продемонстрировала свою эффективность в нескольких ключевых аспектах, включая энергоэффективность, долговечность компонентов и улучшенное удобство эксплуатации. Внедрение передовых технологий, таких как датчики движения и освещенности, позволило существенно снизить энергопотребление, обеспечив автоматическую настройку освещенности в зависимости от текущих условий. Это не только помогает значительно экономить электроэнергию, но и способствует продлению срока службы оборудования, так как система регулирует интенсивность освещения в реальном времени, избегая перегрузок и ненужной работы осветительных приборов. Одним из главных достоинств системы является ее способность адаптироваться к потребностям пользователей, обеспечивая высокий уровень комфорта. Кроме того, интеграция с другими умными устройствами позволяет пользователям управлять освещением в рамках более широкой системы умного дома, повышая степень автоматизации и удобства. Однако, несмотря на достигнутые результаты, система имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. В первую очередь, это касается улучшения качества сенсоров и внедрения технологий распознавания объектов. Системы, способные точно определять количество людей в

комнате или распознавать тип деятельности (например, чтение, работа, отдых), смогут более точно настраивать освещение, оптимизируя его под конкретные условия. Это может привести к дополнительной экономии энергии и улучшению качества освещения, адаптированного под нужды пользователей. Кроме того, для повышения автономности системы необходимо внедрение более совершенных алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта. Система, которая будет самостоятельно анализировать поведение пользователей и изменяющиеся внешние условия, такие как время суток или изменения в освещенности, сможет предсказывать потребности в освещении и автоматически регулировать его, минимизирует вмешательство человека. Это откроет новые возможности для улучшения пользовательского опыта, сделав систему более интуитивной и независимой от активных действий владельцев.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Sun, K.; Zhao, Q.; Zou, J. A review of building occupancy measurement systems. *Energy Build.* 2020, 216, 109965. [[CrossRef](#)]
2. Sun, F.; Yu, J. Indoor intelligent lighting control method based on distributed multi-agent framework. *Optik* 2020, 213, 164816. [[CrossRef](#)]
3. Han, K.H.; Zhang, J. Energy-saving building system integration with a smart and low-cost sensing/control network for sustainable and healthy living environments: Demonstration case study. *Energy Build.* 2020, 214, 109861. [[CrossRef](#)]
4. Cho, Y.; Seo, J.; Lee, H.; Choi, S.; Choi, A.; Sung, M.; Hur, Y. Platform design for lifelog-based smart lighting control. *Build. Environ.* 2020, 185, 107267. [[CrossRef](#)]
5. Seyedolhosseini, A.; Masoumi, N.; Modarressi, M.; Karimian, N. Daylight adaptive smart indoor lighting control method using artificial neural networks. *J. Build. Eng.* 2020, 29, 101141. [[CrossRef](#)]



6. Zou, H.; Zhou, Y.; Jiang, H.; Chien, S.-C.; Xie, L.; Spanos, C.J. WinLight: A WiFi-based occupancy-driven lighting control system for smart building. *Energy Build.* 2018, 158, 924–938. [[CrossRef](#)]
7. Juntunen, E.; Sarjanoja, E.-M.; Eskeli, J.; Pihlajaniemi, H.; Österlund, T. Smart and dynamic route lighting control based on movement tracking. *Build. Environ.* 2018, 142, 472–483. [[CrossRef](#)]
8. Kandasamy, N.K.; Karunagaran, G.; Spanos, C.; Tseng, K.J.; Soong, B.-H. Smart lighting system using ANN-IMC for personalized lighting control and daylight harvesting. *Build. Environ.* 2018, 139, 170–180. [[CrossRef](#)]

