

ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY

УДК: 620.91

DOI: 10.65599/ENG6231

**ТАҲЛИЛИ ТАҲҚИҚОТ ЧИҲАТИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ САМАРАНОКИИ
ТАЪМИНОТИ БАРҚ БО ИСТИФОДАИ ЭНЕРГИЯИ ОҒТОБ****Ш.А. Бобозода**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқот ва таҳлили роҳҳои баланд бардоштани самаранокии таъминоти барқ дар асоси истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия, махсусан энергияи офтобӣ, мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд. Мақсади асосии таҳқиқот таҳлили имкониятҳои истифодаи энергияи офтобӣ барои зиёд намудани истеҳсоли нерӯи барқ, коҳиш додани талафоти он ҳангоми интиқол ва баланд бардоштани эътимоднокии таъминоти барқ, бахусус дар минтақаҳои дурдаст ва аз шабакаҳои марказии барқ дур ҷойгиршуда мебошад. Дар ин замина, истифодаи панелҳои фотоэлектрикӣ ҳамчун яке аз роҳҳои алтернативӣ ва аз ҷиҳати экологӣ тозаи истеҳсоли нерӯи барқ баррасӣ гардидааст. Дар раванди таҳқиқот як қатор қорҳои илмӣ оид ба истифодаи энергияи офтоб, системаҳои мустақили фотоэлектрикӣ, системаҳои гибридии таъминоти барқ, системаҳои пайгирии офтобӣ, усулҳои муайян намудани иқтидори оптималии панелҳои офтобӣ ва аккумуляторҳо, инчунин усулҳои коҳиш додани талафоти энергияи барқ таҳлил карда шудаанд. Дар натиҷаи таҳлил муайян гардид, ки истифодаи панелҳои офтобӣ метавонад дар минтақаҳои дурдаст роҳи самараноки таъмини истеъмолкунандагон бо нерӯи барқ бошад. Истифодаи чунин системаҳо имконият медиҳад, ки вобастагӣ аз хатҳои дарози интиқоли барқ ва сӯзишвории анъанавӣ коҳиш ёфта, талафоти нерӯи барқ ҳангоми интиқол кам ва эътимоднокии таъминоти барқ баланд карда шавад. Ҳамзамон, афзоиши иқтидори насбшудаи панелҳои офтобӣ ва интиҳоби дурусти шумораи иқтидори онҳо метавонад барои зиёд намудани ҳаҷми истеҳсоли нерӯи барқ ва мутобик намудани истеҳсол ба талаботи воқеии истеъмолкунанда мусоидат намояд.

Калидвожаҳо: энергияи офтоб, манбаъҳои барқароршавандаи энергия, панелҳои фотоэлектрикӣ, таъминоти барқ, минтақаҳои дурдаст, талафоти нерӯи барқ, системаи гибридии.

**АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА
ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ****Ш.А. Бобозода**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В статье рассматриваются результаты исследования и анализа путей повышения эффективности электроснабжения на основе использования возобновляемых источников энергии, в частности солнечной энергии. Основной целью исследования является анализ возможностей использования солнечной энергии для увеличения выработки электрической энергии, снижения потерь при её передаче и повышения надёжности электроснабжения, особенно в отдалённых районах, расположенных на значительном расстоянии от централизованных электрических сетей. В данном контексте рассматривается применение фотоэлектрических панелей как одного из альтернативных и экологически чистых способов производства электрической энергии. В процессе исследования проанализирован ряд научных работ, посвящённых использованию солнечной энергии, автономным фотоэлектрическим системам, гибридным системам электроснабжения, системам слежения за движением Солнца, методам определения оптимальной мощности солнечных панелей и аккумуляторных батарей, а также методам снижения потерь электрической энергии. В результате проведённого анализа установлено, что использование солнечных панелей в отдалённых районах может являться эффективным способом обеспечения потребителей электрической энергией. Применение таких систем позволяет снизить зависимость от протяжённых линий электропередачи и традиционных видов топлива, уменьшить потери электрической энергии при её передаче и повысить надёжность электроснабжения. Одновременно увеличение установленной мощности солнечных панелей и правильный выбор их количества и номинальной мощности могут способствовать повышению объёма производства электрической энергии и обеспечению соответствия выработки фактическим потребностям потребителей.

Ключевые слова: солнечная энергия, возобновляемые источники энергии, фотоэлектрические панели, электроснабжение, отдалённые районы, потери электрической энергии, гибридная система.

**ANALYSIS OF RESEARCH APPROACHES TO ENHANCING ELECTRICITY SUPPLY EFFICIENCY
THROUGH THE USE OF SOLAR ENERGY****Sh.A. Bobozoda**

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

This article presents the results of a study and analysis of approaches to improving the efficiency of electricity supply through the utilization of renewable energy sources, particularly solar energy. The primary objective of the study is to assess the potential of solar energy for increasing electricity generation, reducing power transmission losses, and enhancing the reliability of electricity supply, particularly in remote areas located at considerable distances from centralized power grids. In this context, the application of photovoltaic panels is considered as one of the alternatives and environmentally sustainable methods of electricity

generation. The study analyzes a range of scientific publications addressing the utilization of solar energy, stand-alone photovoltaic systems, hybrid power supply systems, solar tracking systems, methods for determining the optimal capacity of solar panels and battery storage systems, as well as approaches to reducing electrical energy losses. The analysis demonstrates that the use of solar panels in remote areas can provide an effective means of supplying consumers with electricity. The implementation of such systems can reduce dependence on long-distance transmission lines and conventional fuels, minimize electricity transmission losses, and improve the reliability of power supply. Furthermore, increasing the installed capacity of solar panels and properly selecting their number and rated capacity can contribute to higher electricity generation and better alignment of power production with the actual demand of consumers.

Keywords: solar energy, renewable energy sources, photovoltaic panels, electricity supply, remote areas, electrical energy losses, hybrid system.

1. Муқаддима (Introduction)

Дар солҳои охир масъалаи гармшавии глобалӣ, ки яке аз сабабҳои асосии он афзоиши партовҳои CO₂ ба атмосфера мебошад, ба марҳилаи ҳассос ворид шудааст. Бо мақсади ҳалли ин масъала Протоколи Киото ва баъдан Созишномаи Париж дар доираи Конвенсияи қолабии Созмони Милали Муттаҳид оид ба тағйирёбии иқлим қабул гардиданд. Ҳадафи асосии ин созишномаҳо маҳдуд намудани афзоиши ҳарорати миёнаи ҷаҳонӣ то 1,5 °C тавассути коҳиш додани партовҳои CO₂ мебошад [1 – 2]. Барои ноил шудан ба ин ҳадаф кишварҳо бояд ба иқтисодиёти камкарбон гузаранд ва талаботи энергетикӣ худро тавассути истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия (МБЭ) қонеъ намоянд. Тибқи маълумоти манбаъҳои гуногун, беш аз 40%-и партовҳои ҷаҳонии CO₂ ба соҳаи энергетика рост меояд [3], ки дар он низомии энергетикӣ яке аз ҷузъҳои калидӣ ба ҳисоб меравад.

Системаи энергетикӣ (СЭ) метавон ҷамчун сохтори мураккаби динамикӣ баррасӣ намуд, ки вазифаи асосии он истеҳсол, интиқол, тақсимот ва истеъмоли энергияи электрикӣ (ЭЭ) мебошад. Дар фаъолияти чунин система бояд тавозуни байни истеҳсол ва истеъмоли ЭЭ пайваста нигоҳ дошта шавад. Дар айни замон қисми назарраси неруи барқӣ истеҳсолшуда дар неругоҳҳои гармидиҳӣ тавассути сӯзонидани сӯзишвории фосилӣ ба даст оварда мешавад. Аз ин рӯ, яке аз ҳадафҳои асосии СЭ-и муосир коҳиш додани CO₂ ва гузариш ба раванди истеҳсоли барқӣ аз ҷиҳати экологӣ тоза мебошад [4]. Ин раванд асосан тавассути истифодаи МБЭ, аз ҷумла энергияи офтоб, шамол ва гидроэнергетика [5 – 7], амалӣ карда мешавад.

Тибқи омори ҷаҳонӣ, дар солҳои охир гузариши назаррас аз усулҳои анъанавии истеҳсоли нерӯи барқ ба истифодаи МБЭ мушоҳида мегардад. Афзоиши ҷаҳонии истеҳсоли ЭЭ аз ҳисоби МБЭ дар соли 2025 ба 8,5% расида, ҳиссаи умумии онҳо дар баланси энергетикӣ ҷаҳонӣ 33,6%-ро ташкил дод [8]. Дар Иттиҳоди Аврупо дар соли 2025 ҳиссаи ЭЭ-и истеҳсолшуда бо истифодаи МБЭ ба 48,2% расид, дар ҳоле ки дар Чин ва ИМА ин нишондиҳанда мутаносибан 36,6% ва 24,5%-ро ташкил дод. Дар кишварҳои Осиёи Ҷанубу Шарқӣ ва Ҳиндустон ҳиссаи мазкур дар соли 2025 мутаносибан ба 26,5% ва 23,6% баробар буд [8]. Дар сохтори МБЭ энергияи офтоб яке аз самтҳои калидӣ ва босуръат рушдбанда ба ҳисоб меравад.

Воридшавии васеи МБЭ ба СЭ на танҳо ба коҳиши партовҳои CO₂ мусоидат мекунад, балки хусусиятҳои кори низомии энергетикӣ низ тағйир медиҳад. Дар натиҷа баъзе хусусиятҳои ба вучуд меоянд, ки барои равандҳои анъанавии энергетикӣ камтар хос мебошанд, аз ҷумла тағйирёбанда ва даврӣ будани истеҳсоли ЭЭ хангоми истифодаи энергияи офтобӣ. Тағйирёбии истеҳсоли ЭЭ, пеш аз ҳама, ба тағйироти кӯтоҳмуддати абрнокӣ вобаста буда, хусусияти даврии он ба дастрасии радиатсияи офтоб дар соатҳои равшаниӣ рӯз алоқаманд мебошад. Ин омилҳо метавонанд ба нобаробарии сарбории барқӣ, тағйирёбии ҳаҷм ва самти қараёни нерӯи барқ, инчунин ба коҳиши муҳлати хизмати таҷҳизоти СЭ оварда расонанд. Аз ин рӯ, зарурати тақвину додани технологияҳои истифодаи МБЭ ва ҳамгиро намудани онҳо ба СЭ, инчунин бознигариҳои равишҳои мавҷуда дар таҳияи алгоритмҳои муҳофизати релею автоматика ва идоракунии ҳолатҳои фавқулодаи СЭ ба миён меояд.

Дар мақолаи мазкур истифодаи энергияи офтоб барои бартараф намудани норасоии ЭЭ дар минтақаҳои дурдаст, коҳиш додани партовҳои CO₂ ба муҳити зист, баланд бардоштани эътимоднокии таъминоти барқ ва кам намудани талафоти он хангоми интиқол таҳлил карда мешавад. Усулҳои интиҳоби иқтисодии оптималии панелҳои офтобӣ ва батареяҳои захиравии энергия, ки дар таркиби системаҳои гибридӣ истифода мешаванд, баррасӣ гардидаанд. Ҷамчунин бартарӣ ва маҳдудиятҳои

усулҳои таҳлилшуда муайян ва муқоиса карда шуда, ҳолати кунунии мавзӯ дар самти истифодаи энергияи офтобӣ барои баланд бардоштани самаранокии таъминоти барқ арзёбӣ гардидааст.

2. Мавод ва усулҳо (Materials and methods)

2.1. Таҳлили манобеъ

Барои беҳтар кардани самаранокии таъминот бо ЭЭ дар яке аз минтақаҳои дурдасти Русия мақолаи [9] истифодаи радиатсияи офтобро пешниҳод мекунад. Мақола арзёбии радиатсияи офтобро дар маҳали дарёфт бо дарназардошти тартибдиҳандаҳои он пеш аз ворид шудан ба атмосфера ва пас аз он — радиатсияи мустақим ва паҳншуда — пешниҳод мекунад. Барои ҳисоб кардани радиатсияи умумии офтоб формулаи зерин пешниҳод шудааст:

$$C_{\Sigma} = (C + C_D)[1 - (0.38 + 0.38 \cdot \eta \cdot 0.1) \cdot 0.1 \cdot \eta], \quad (1)$$

ки дар он η — коэффитсиенти пӯшиши абрҳост; C_D ва C — мутаносибан компонентҳои пароканда ва мустақими радиатсияи офтоб мебошанд; C_{Σ} — ҷузъи умумии радиатсияи офтоб бо дар назар гирифтани абрнокӣ.

Қобили зикр аст, ки дар ин мақола арзёбии ададии кунчи оптималии маҳали дарёфти радиатсияи офтоб бо дар назар гирифтани тағйирёбии паҳноии ҷуғрофӣ ва фаслҳо пешниҳод шудааст. Ба ҳисоби миёна дар тӯли як сол самаранокии кунчи маҳали дарёфт, ки барои ҳар фасл оптимизатсия шудааст, 1,09 маротиба аз самаранокии кунҷе, ки ба паҳноии ҷуғрофии маҳаллӣ баробар аст, зиёдтар мебошад.

Дар мақолаи [10] ҳалли мушкилоти болоравии нархи энергияи электрикӣ (ЭЭ) ва талафоти он дар ҳатти интиқоли барқ ба миён гузошта шудааст. Барои ҳалли ин масъала муаллифи мақола истифодаи энергияи офтобиро пешниҳод намудааст. Афзун бар ин, дар мақола истифодаи энергияи офтоб барои таъмини гармӣ низ кайд шудааст. Дар мақола зикр гардидааст, ки боло бурдани ҳаҷми ғунҷоиши батареяҳои аккумуляторӣ ва концентратсияи нурфи офтоб дар сатҳи панелҳои офтобӣ барои истифодаи васеи энергияи офтобӣ мусоидат менамояд.

Мақсади асосии мақолаҳои [11 – 12] аз таҳияи барномаи идоракунии муҳаррикҳои системаи пайгирии панелҳои офтобӣ тавассути назоратчи барномавии Arduino иборат аст. Мақсади асосии ин таҳқиқот омӯзиш ва таҳлили алгоритмҳои пайгирии нуқтаи тавоноии максималӣ (НТМ) дар дастгоҳҳои фотоэлектрикӣ, муайян намудани роҳҳои баланд бардоштани самаранокии нерӯгоҳҳои офтобӣ ва инчунин коэффитсиенти кори фоиданоки (ККФ) онҳо дар шароити гуногуни муҳити зист мебошад. Фарқияти кори [11] аз [12] дар он аст, ки дар кори [11] кунчи панели офтобӣ нисбати ҳатти уфуқӣ (элеватсия) дар давоми рӯз муайян буда бетағйир мемонад. Алгоритм кунчи байни панели офтобӣ нурҳои офтобро нисбати ҳатти амудӣ танзим менамояд. Дар кори [12] бошад алгоритми идоравӣ қодир ба танзими панелҳои офтобӣ нисбати ҳам ҳатти уфуқӣ ҳам ҳатти амудӣ аст. Ба ин тартиб, алгоритм дар давоми рӯз худ НТМ панелҳои фотоэлектрикиро нисбати нурҳои офтоб муайян месозад. Бартарии роҳи пешниҳодшуда нисбат ба алгоритмҳои мавҷуда боло бурдани ККФ панелҳои офтобӣ мебошад. Асоси ин алгоритмҳо иборат аз системаи зер аст:

$$\begin{cases} E = \frac{dP}{dU}, \\ C_E = \frac{dE}{dE}, \end{cases} \quad (2)$$

дар системаи (2) dP ва dU — суръати тағйирёбии иқтидор ва шиддат дар панели офтобӣ мебошанд; E — суръати тағйирёбии P нисбати суръати тағйирёбии U ; C_E — суръати тағйирёбии E .

Муаллифони мақолаи [13] дар бораи аҳамияти манбаъҳои барқароршавандаи энергия (МБЭ) дар вилояти Амур сухан мегӯянд. Дар мақолаи мазкур барои ҳалли мушкилоти норасоии ЭЭ, барои боло бурдани эътимоднокии таъмини истеъмолкунандагон бо ЭЭ ва барои поён бурдани сатҳи CO_2 аз ҷумла истифодаи энергияи офтобӣ пешниҳод шудааст. Дар мақолаи мазкур зикр шудааст, ки вилояти Амур барои рушди энергетикаи барқароршаванда дорои шароити хуб аст. Сохтмони иншооти калон, аз ҷумла космодроми «Восточный», кубури гази «Сила Сибири», заводҳои коркарди газ ва нафту химия талаботро ба энергияро зиёд мекунад. Барои ҳамин истифодаи МБЭ, махсусан энергияи офтобӣ, метавонад роҳи хуби ҳали ҷуброни норасоии энергия бошад.

Дар мақолаи [14] барои баланд бардоштани эътимоднокии таъминоти барқ, кам кардани истифодаи сӯзишвории карбогидридӣ ва рушди энергетикаи хурд истифодаи МБЭ пешниҳод

шудааст. Аз ҷумла, истеҳсоли ЭЭ тавассути дастгоҳҳои офтобӣ қайд гардидааст. Бо мақсади муайян намудани таркиби аз ҷиҳати техникӣ ва иқтисодӣ самараноки МБЭ, методикаи нави баҳодиҳӣ ва интиҳоб пешниҳод шудааст, ки имкон медиҳад вариантҳои гуногуни системаҳои энергетикӣ аз рӯи нишондиҳандаҳои техникӣ, иқтисодӣ ва самаранокии истифода муқоиса ва беҳтарин таркиб интиҳоб карда шавад. Ҳангоми анҷом додани таҳқиқот муаллиф аз усулҳои гуногуни таҳлил, моделсозӣ ва арзёбии нишондиҳандаҳои энергетикӣ истифода бурдааст. Асоси ин кор иборат аз тақсимои муқаррари тағйирёбандаи тасодуфӣ дар шакли содакардашуда аст:

$$y = \frac{P_{\text{треб}} - \mu(P_{\Sigma})}{\sigma(P_{\Sigma})} \quad (3)$$

дар ифодаи (3) $P_{\text{треб}}$ – иқтидори зурури; P_{Σ} – иқтидори пурраи системаи МБЭ; μ ва σ – умеди риёзии (математическое ожидание) ва дисперсияи иқтидори МБЭ.

Тарафҳои мусбии кори дар боло зикршуда аз нуқтаҳои зер иборат аст. Ҳангоми интиҳоби МБЭ тағйирёбии обу ҳаво ба назар гирифта мешавад. Эҳтимолияти қатъ ё камшавии таъмини ЭЭ барои истеъмолкунандагон арзёбӣ карда мешавад. Афзун бар ин, ҳангоми интиҳоби навъи МБЭ иқтидор ва арзиши онҳо ба ҳисоб гирифта мешавад.

Дар мақолаи [15] масъалаҳои кам кардани вобастагӣ аз газу ангишт ва норасоии барқ дар шароити афзоиши талабот бар он дар кишвари Ўзбекистон матраҳ шудаанд. Барои ҳалли ин масъалаҳо дар мақолаи мазкур истифодаи энергияи офтобӣ пешниҳод шудааст. Инчунин дар ин мақола зикр гардидааст, ки дар кишвари зикршуда нерӯгоҳҳои офтобӣ нисбат ба дигар намуди нерӯгоҳҳо дар ҳоли рушд аст.

Роҳҳои ҳалли пешниҳодшуда дар мақолаи [15] ду бартарии муҳим дорад. Авал ин ки истифодаи дарозмуддати энергияи офтобӣ ба кам карди хароҷоти сӯзишворӣ барои тавилиди ЭЭ дар нерӯгоҳҳои ҳароратӣ ва коҳиши талофоти энергияи электрикӣ ҳангоми интиқоли он мусоидат менамояд. Дуюм истеҳсоли барқ тавассути энергияи офтобӣ ба кам кардани вобастагӣ аз сӯзишвории табиӣ (ангишт, газ, дигар намуд сӯзишворӣ) оварда мерасонад.

Мақолаи [16] ба истифодаи энергияи офтобӣ тавассути панелҳои офтобӣ бахшида шудааст. Муҳтавои асосии мақола омӯзиши табилии энергияи нури офтоб ба энергияи электрикӣ ва имкониятҳои истифодаи он ҳамчун МБЭ мебошад. Истифодаи энергияи офтобӣ тавассути панелҳои офтобӣ барои ҳалли якҷанд масъалаҳои муҳим мусоидат менамояд. Пеш аз ҳама, он вобастагии истеъмолкунандагонро аз манбаъҳои анъанавии энергия, аз қабилҳои нафт, газ ва ангишт кам мекунад. Илова бар ин, истифодаи энергияи офтобӣ ба коҳиш додани ифлосшавии муҳити зист ва партоби CO_2 мусоидат менамояд. Ҳамчунин, истифодаи ин навъи МБЭ имконият медиҳад, ки аҳоли ва корхонаҳо нерӯи барқи худро мустақилона истеҳсол кунанд ва хароҷоти истифодаи нерӯи барқро коҳиш диҳанд.

Дар маҷмӯъ, мақолаи [16] нишон медиҳад, ки истифодаи энергияи офтобӣ роҳи самараноки таъмини ЭЭ буда, ҳамзамон ба коҳиши вобастагӣ аз манбаъҳои анъанавии энергия, паст намудани таъсири экологӣ ва баланд бардоштани мустақилияти энергетикӣ истеъмолкунандагон мусоидат мекунад.

Мақолаи [17] ба таҳлили истифодаи энергияи офтобӣ ҳамчун МБЭ бахшида шудааст. Дар он принсипи табилии энергияи офтобӣ ба нерӯи барқ тавассути фотоэффект шарҳ дода шуда, имкониятҳои истифодаи системаҳои фотоэлектрикӣ арзёбӣ гардидаанд. Ҳамчунин бартарӣ ва маҳдудиятҳои технологияи панелҳои офтобӣ мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Муаллиф истифодаи энергияи офтобро ҳамчун роҳи ҳалли се масъалаи асосӣ пешниҳод менамояд. Аввал, истифодаи энергияи офтобӣ вобастагиро аз сӯзишвории маъданӣ коҳиш медиҳад. Нафт, газ ва ангишт захираҳои маҳдуд мебошанд, дар ҳоле ки энергияи офтобӣ манбаи барқароршаванда ва дарозмуддати энергия мебошад. Дуюм, технологияҳои фотоэлектрикӣ ба ҳифзи муҳити зист мусоидат мекунад. Ҳангоми истеҳсоли ЭЭ CO_2 ва дигар моддаҳои ифлоскунанда хориҷ намешаванд. Аз ин рӯ, истифодаи онҳо таъсири манфии энергетикаро ба муҳити зист коҳиш медиҳад. Сеюм, панелҳои офтобӣ имконияти таъмини ЭЭ дар минтақаҳои дурдаст фароҳам меоранд. Ин системаҳо мустақилона фаъолият намуда, эҳтиёро ба шабакаҳои марказии интиқоли ЭЭ кам мекунад.

Технологияи пешниҳодшуда дорои як қатор бартариҳои муҳимми техникӣ ва экологӣ мебошад. Пеш аз ҳама, энергияи офтобӣ манбаи барқароршаванда буда, барои истифода маҳдудияти захиравӣ надорад. Илова бар ин, панелҳои офтобӣ муҳлати хизмати дароз дошта, хароҷоти нигоҳдории онҳо нисбатан паст мебошад. Ин хусусиятҳо истифодаи онҳоро аз ҷиҳати иқтисодӣ ва техникӣ асоснок мегардонанд. Самаранокии системаҳои фотоэлектрикӣ тавассути истифодаи технологияҳои нав метавонад баланд бардошта шавад. Ба ин технологияҳо системаҳои пайгирии офтоб, концентраторҳои офтобӣ, фотоэлементҳои бисёрқабата ва маводди муосири нимноқилӣ дохил мешаванд. Татбиқи онҳо истехсоли нерӯи барқро зиёд намуда, талафоти энергияро коҳиш медиҳад.

Бо вучуди ин, технологияи энергияи офтоб як қатор маҳдудиятҳо низ дорад, аз ҷумла самаранокии аксари панелҳои мавҷуда аз 15–25 % зиёд нест. Истехсоли ЭЭ аз шароити обу ҳаво ва давомнокии рӯшноии офтоб вобаста мебошад. Ҳангоми ҳарорати баланд самаранокии фотоэлементҳо коҳиш меёбад. Ғайр аз ин, арзиши баланди таҷҳизот, зарурати тозакунии мунтазами панелҳо ва пастшавии тадриҷии хусусиятҳои техникийи онҳо аз омилҳои маҳдудкунандаи истифодаи васеи технология ба ҳисоб мераванд.

Моҳияти мақолаи [18] ба истифодаи энергияи офтобии фотоэлектрикӣ ҳамчун самти афзалиятноки рушди МБЭ баҳшида шудааст. Муаллифон нерӯгоҳҳои офтобиро яке аз технологияҳои босуръат рушдбандаи энергетикаи муосир арзёбӣ намуда, нақши онҳоро дар рушди низоми устувори энергетикӣ таҳлил кардаанд. Дар мақола қайд шудааст, ки нерӯгоҳҳои офтобии фотоэлектрикӣ аз рӯи суръати афзоиши иқтисодӣ насбшуда дар ҷаҳон мавқеи пешсаф доранд. Принсипи кори онҳо ба табдили мустақими радиатсияи офтобӣ ба ЭЭ тавассути фотоэлементҳо асос ёфтааст.

Муаллифон истифодаи энергияи офтобиро барои ҳалли се масъалаи асосии энергетикӣ пешниҳод менамоянд. Аввал, энергияи офтоб вобастагиро аз захираҳои маҳдуди нафту газ ва ангишт коҳиш медиҳад. Иваз намудани сӯзишвории маъданӣ бо манбаҳои барқароршаванда ба баланд бардоштани амнияти энергетикӣ мусоидат мекунад.

Дуюм, системаҳои фотоэлектрикӣ ҳангоми истехсоли ЭЭ CO₂ хориҷ намеkunанд. Сеюм, нерӯгоҳҳои офтобӣ барои минтақаҳои аз шабакаи марказии СЭ дурбуда ҳалли самаранок пешниҳод менамоянд. Истифодаи системаҳои мустақили фотоэлектрикӣ эҳтиёро ба сохтмони хатҳои гаронаризи интиқоли барқ коҳиш медиҳад.

Барои рушди минбаъдаи МБЭ муаллифон якҷанд самти афзалиятнокро пешниҳод менамоянд. Афзоиши сармоягузорӣ ба нерӯгоҳҳои офтобӣ метавонад вобастагии иқтисодро аз сӯзишвории истихроҷшаванда коҳиш диҳад. Ҳамзамон, истифодаи ҳамгирои манбаҳои гуногуни барқароршавандаи энергия, аз ҷумла офтоб, шамол ва об эътимоднокии низоми энергетикиро баланд мебардорад. Муаллифон инчунин таъкид менамоянд, ки густариши истифодаи манбаҳои барқароршавандаи энергия рушди технологияҳои муосири энергетикиро суръат мебахшад. Ин раванд тақмили системаҳои интеллектуалии идоракунии ва технологияҳои захиракунии энергияро талаб намуда, ба баланд бардоштани самаранокӣ, устуворӣ ва эътимоднокии низоми энергетикӣ мусоидат мекунад.

Дар маҷмӯъ, мақола нишон медиҳад, ки истифодаи энергияи офтобии фотоэлектрикӣ яке аз самтҳои калидии гузариш ба низоми устувори энергетикӣ буда, метавонад ҳамзамон масъалаҳои энергетикӣ, экологӣ ва иқтисодиро ҳал намояд.

Мақолаи [19] ба истифодаи энергияи офтобӣ дар корхонаҳои нафту газ воқеъ дар минтақаҳои дурдаст баҳшида шудааст. Ҳадафи асосии муаллифон арзёбии самаранокии иқтисодӣ ва экологии истифодаи МБЭ мебошад. Дар мақола системаи гибридӣ иборат аз панелҳои офтобӣ, батареяҳои захиравӣ, генератори дизелӣ ва контроллерҳои идоракунии баррасӣ шудааст. Дар минтақаҳои дурдаст интиқоли сӯзишворӣ ва истифодаи доимии генераторҳои дизелӣ хароҷоти зиёд талаб мекунад. Истифодаи системаи гибридӣ масрафи сӯзишворӣ, хароҷоти истифодабарӣ ва таъсири манфӣ ба муҳити зистро коҳиш дода, ҳамзамон, эътимоднокии таъминоти нерӯи барқро баланд мебардорад. Аккумуляторҳо энергияро дар вақти набудани радиатсияи офтоб ба система медиханд, дар ҳоле ки генератори дизелӣ танҳо ҳангоми зарурат ба кор медарояд. Дар натиҷа самаранокии истифодаи энергия баланд шуда, партовҳои моддаҳои зараровар кам мегарданд. Аз ин рӯ, системаи

пешниҳодшуда барои объектҳои дурдасти саноати нафту газ аз ҷиҳати техникӣ, иқтисодӣ ва экологӣ роҳи ҳалли самаранок ба ҳисоб меравад.

Мақолаи [20] ба истифодаи энергияи офтоб дар низомҳои гибридии таъминоти энергия бахшида шудааст. Муаллифон масъалаи муайян намудани иқтидори оптималии батареяҳои офтобиро барои баланд бардоштани самаранокии системаи гибридии энергетикӣ таҳлил намудаанд. Барои ҳалли ин масъала ифодаи зер пешниҳод шудааст:

$$N = \frac{P_{\text{ПИК Р СБ}} \cdot K_{\text{ЗАП}}}{P_{\text{ПИК СМ}}} \quad (4)$$

дар ифодаи (4), N – миқдори панелҳои офтоби дар батареяи офтоби; $K_{\text{ЗАП}}$ – зариби амни (коэффициент запаса); $P_{\text{ПИК Р СБ}}$ – тавоноии максималии қуплии ҳисобии мавриди ниёзи батареяи офтобӣ; $P_{\text{ПИК СМ}}$ – тавоноии максималии панаели офтобии воҳид.

Ин равиш имкон медиҳад, ки қисми асосии талаботи истеъмолкунанда аз ҳисоби энергияи офтобӣ қонеъ карда шавад. Ҳамзамон, истифодаи батареяҳои офтобӣ вақти кори генераторҳои дизелиро кам намуда, истеъмоли сӯзишворӣ ва хароҷоти истифодабариро коҳиш медиҳад. Муаллифон интиҳоби иқтидори оптималии батареяҳои офтобиро ҳамчун роҳи асосии баланд бардоштани самаранокии системаи гибридӣ пешниҳод менамоянд. Ин усул истеҳсоли неруи барқро ба талаботи воқеии истеъмолкунанда мутобиқ намуда, истифодаи МБЭ-ро зиёд мекунад. Дар натиҷа, масрафи сӯзишвории дизелӣ, хароҷоти истифода ва партовҳои моддаҳои ифлоскунанда коҳиш ёфта, эътимодноқӣ ва самаранокии иқтисодии низоми энергетикӣ баланд мегардад.

Аз муҳтавои мақолаи [21] маълум мешавад, ки он ба методикаи ҳисоб кардани иқтидори нерӯгоҳҳои мустақили офтобӣ (Автономная солнечная электростанция – АСЭ) бахшида шудааст. Энергияи офтоб дар мақолаи мазкур барои ҳалли масъалаҳои муҳими энергетикӣ истифода мешавад. Ба онҳо таъмини хонаҳои деҳоти дурдаст, майдончаҳои варзишӣ ва нуқтаҳои мобилӣ дохил мешаванд. Дар рӯз панелҳои офтобӣ истеъмолкунандагонро бо барқ таъмин намуда, ҳамзамон аккумуляторҳоро пур мекунад. Шабона бошад, аккумуляторҳо энергияи захирашударо ба борҳо медиҳанд. Мақсад аз методикаи пешниҳодшуда ҳисоб кардани дурусти иқтидори панелҳои офтобӣ, муайян кардани ҳаҷми зарурии аккумуляторҳо ва интиҳоби дурусти инвертор ва контроллер мебошад. Ин имкон медиҳад, ки таҷҳизоти зиёдтарӣ харидорӣ нашавад ва таркиби система мутобиқи талаботи воқеии истеъмолкунанда интиҳоб гардад. Муаллифон методикаи нави ҳисобкуниро пешниҳод намудаанд, ки нисбат ба усулҳои одӣ якҷанд бартариҳои муҳим дорад. Бартариҳои аввал муайян намудани ҳаҷми дақиқи аккумулятор мебошад. Дар усулҳои содакардашуда одатан аккумуляторҳо аз ҳад зиёд интиҳоб мешаванд. Методикаи мазкур вақти кори шабонарӯзиро ҳисоб мекунад, тағйирёбии сарбории шабонаро ба назар мегирад ва иқтидори воқеан зарурии аккумуляторро муайян мекунад. Бартариҳои дуюм кам кардани арзиши нерӯгоҳ мебошад. Азбаски иқтидори панелҳои офтобӣ, аккумуляторҳо ва инверторҳо ба тарзи оптималии интиҳоб намешаванд, арзиши умумии система паст мешавад. Бартариҳои дигар баланд шудани самаранокии система мебошад. Методика имкон медиҳад, ки ККФ-и система ҳисоб карда шуда, талафоти энергия дар инверторҳо ва табдилдиҳандаҳо ба назар гирифта шавад. Дар натиҷа, интиҳоби таҷҳизот дақиқтар гардида, самаранокӣ ва эътимоднокии нерӯгоҳи мустақили офтобӣ баланд мешавад.

Дар мақолаи [22] масъалаи истифодаи МБЭ ҳамчун ҷузъи системаи гибридӣ дар корхонаҳои нафту газ баррасӣ шудааст. Муаллифон нишон медиҳанд, ки бо афзоиши талабот ба энергия, баланд шудани нархи сӯзишвории аъёнавай ва пурзӯр гардидани талаботи экологӣ истифодаи МБЭ дар соҳаи нафту газ аҳамияти бештар пайдо мекунад. Ҳадафи асосии тадқиқот муайян кардани самаранокии иқтисодӣ ва экологии истифодаи МБЭ барои таъмини нерӯи барқ дар объектҳои нафту газ мебошад. Дар мақола қайд шудааст, истифодаи нерӯгоҳи офтобӣ дар таркиби нерӯгоҳи барқии гибридӣ метавонад то 25 ҳазор литр дизелро дар як сол сарфа намояд. Ин ба коҳиши хароҷоти истеҳсоли мусоидат мекунад. Дар натиҷаи кам шудани истифодаи дизел, партовҳои CO_2 то 63,5 тонна дар як сол аз як дастгоҳ кам мешавад, ки ба ҳифзи муҳити зист мусоидат мекунад. Истифодаи ин система арзиши нерӯи истеҳсолшударо паст намуда, хароҷоти интиқоли сӯзишвориро коҳиш медиҳад ва ғайри ин иқтисодиро зиёд мекунад.

Дар мақолаи [23] ба омӯзиши самаранокии иқтисодии истифодаи МБЭ, махсусан энергияи офтоб, дар таъмини барқи марказҳои коркарди маълумот, системаҳои иттилоотӣ ҳисоббарорӣ ва

дигар объектҳои энергетикӣ хурд бахшида шудааст. Муаллифон масъалаи муҳимро матраҳ кардаанд: дар шароити афзоиши пайвастаи нархи нерӯи барқ ва сӯзишвории анъанавӣ истифодаи энергияи офтоб барои таъмини нерӯи барқ то кадом андоза аз ҷиҳати иқтисодӣ ғоидаовар аст. Таҳлил нишон медиҳад, ки дар даҳсолаи охир нархи нерӯи барқ солоне аз 12 то 27 ғоиз афзоиш ёфта, арзиши газ барои нерӯгоҳҳо қариб 4,5 маротиба баланд шудааст. Дар ҳамин ҳол, арзиши технологияҳои офтобӣ ба таври назаррас паст гардидааст. Ин вазъият имконияти васеи истифодаи нерӯи офтобро фароҳам меорад. Тамоми тадқиқот ба арзёбии самаранокии иқтисодии истифодаи нерӯгоҳҳои офтобӣ ва панелҳои фотоэлектрикӣ бахшида шудааст. Аз ин рӯ, метавон гуфт, ки энергияи офтоб на танҳо истифода мешавад, балки объекти асосии таҳқиқоти илмӣ мебошад.

Дар таҳқиқот маҷмуи ҷорабиниҳои баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ, аз ҷумла истифодаи энергияи офтоб, пешниҳод гардидааст, ки татбиқи онҳо метавонад хароҷоти умумии энергетикиро то 43% коҳиш диҳад. Муаллифон нишон медиҳанд, ки барои объекти бо сарбории 1 МВт то масофаи 25 км, барои объекти бо сарбории 2 МВт то 50 км ва барои объекти бо сарбории 3 МВт то 70 км истифодаи энергияи офтобӣ дар муқоиса бо сохтмон ва васеъкунии хатҳои нави интиқоли барқ аз ҷиҳати иқтисодӣ самараноктар арзёбӣ мегардад, зеро он ниёз ба сармоягузориҳои бузург дар инфрасохтори шабакавино коҳиш медиҳад. Таҳқиқот нишон медиҳад, ки муҳлати бозгашти сармоя аз 4,1 то 6,1 солро ташкил медиҳад ва қисми муайяни истеҳсоли энергия (тақрибан 3%) аз ҷиҳати иқтисодӣ ғоидаовар аст.

Илова бар ин, энергияи офтобӣ ба коҳиши партовҳои CO₂ мусоидат намуда, таъсири манфии соҳаи энергетикаро ба иқлим кам мекунад. Дар маҷмӯъ, густариши энергияи офтобӣ ба татбиқи принципҳои рушди устувор ва ташаккули низоми энергетикӣ аз ҷиҳати экологӣ тоза мусоидат менамояд.

3. Натиҷаҳо (Results)

3.1. Мушаххасоти манобеи баррасишуда

Барои равшанӣ, дар ҷадвали 1 таҳлили муқоисавии корҳои дар боло зикршуда оварда шудааст. Барои ифода намудани ҳадаф дар ин ҷадвал маҷмуи зерини аломатҳои ҳарфӣ истифода мешавад. v1 – боло бурдани самаранокии таъмини барқ; v2 – паст кардани гароншавии энергияи электрикӣ ва талафоти он дар хатҳои интиқоли барқ; v3 – таҳияи барномаи идоракунии системаи пайгирии панелҳои офтобӣ; v4 – аҳамияти МБЭ дар вилояти Амур; v5 – баланд бардоштани эътмоднокии таъминоти барқ, кам кардани истифодаи сӯзишвории карбогидридӣ; v6 – кам кардани вобастагӣ аз газу ангишт ва норасоии барқ; v7 – омӯзиши табдили энергияи нури офтоб ба энергияи электрикӣ; v8 – таҳлили истифодаи энергияи офтоб ҳамчун МБЭ; v9 – истифодаи энергияи офтоб дар низомҳои гибридӣ.

Ҷадвали 1 – Таҳлили тадбиқи корҳои баррасишуда

Table 1 – Analysis of the implementation of the reviewed activities

Муаллиф	Сол / Кишвар	Мақсад	Роҳи ҳалли мушкилот
Воеводин, И. Г.	2015/Россия	v1	Насби панелҳои офтобӣ дар минтақаҳои дурдаст
Бубенчиков А.А.	2016/Россия	v2	Насби панелҳои офтобӣ барои гарм кардани хонаҳо.
Шарифов Б.Н.	2024/Тоҷикистон	v3	Истифодаи алгоритми идоракунии пайгирии НТМ тавассути назоратчии барномавии Arduino
Гаврилов В.Г.	2017/Россия	v4	Истифодаи алгоритми идоракунии пайгирии НТМ тавассути назоратчии барномавии Arduino
Соснина Е.Н.	2012/Россия	v5	Методикаи баҳодиҳии истеҳсоли нерӯи барқ тавассути дастгоҳҳои офтобӣ
Коновалов Ю.В.	2024/Ўзбекистон	v6	Методикаи баҳодиҳии истеҳсоли нерӯи барқ тавассути дастгоҳҳои офтобӣ
Степанов М.В.	2024/Россия	v7	Насби панелҳои офтобӣ дар минтақаҳои дурдаст
Бабаев Ф.Б.	2023/Россия	v8	Насби панелҳои офтобӣ барои кам кардани партовҳои CO ₂
Баринава В.А.	2016/Россия	v1	Насби энергияи офтобии фотоэлектрикӣ
Ковальчук Ю.Л.	2006/Россия	v6	Насби панелҳои офтобӣ дар минтақаҳои дурдаст
Яков М. К.	2024/Россия	v9	Насби панелҳои офтобӣ дар нерӯгоҳи барқии гибридӣ
Яков М. К.	2013/Россия	v1	Насби панелҳои офтобӣ дар минтақаҳои дурдаст
Губайдуллин К.	2024/ИМА*	v9	Насби панелҳои офтобӣ дар нерӯгоҳи барқии гибридӣ
Аббасова Т.С.	2015/Россия	v8	Насби панелҳои офтобӣ барои кам кардани хароҷот

*Иёлоти Муттаҳидаи Амрико

Аз таҳлили сутуни сеюми Чадвали 1 бармеояд, ки дар корҳои таҳқиқоти [9, 18, 21], ки аз ҷониби муаллифони Федератсияи Россия анҷом дода шудаанд, ҳадафи асосии таҳқиқот яксон мебошад. Дар дигар корҳои баррасишуда низ, сарфи назар аз баъзе фарқиятҳо дар ифодаи мақсадҳо, самти умумии таҳқиқот қариб якхела буда, ба омӯзиш ва татбиқи усулҳо ва методҳои гуногун ҷиҳати насби панелҳои офтобӣ дар минтақаҳои дурдаст, инчунин коҳиш додани талафоти нерӯи барқ дар хатҳои интиқоли барқ равона гардидааст.

Ҳамзамон, аз таҳлили сутуни охири Чадвали 1 маълум мегардад, ки новобаста аз фарқиятҳои мавҷуда дар ҳадафҳои таҳқиқот, роҳҳои пешниҳодшудаи ҳалли масъалаҳо дар аксари мавридҳо ба ҳам наздик ва ё яксон мебошанд. Ин ҳолат аз мавҷудияти равишҳои умумии илмӣ ва техникаи ҳалли масъалаҳои таъмини самаранокии энергияи офтобӣ ва баланд бардоштани самаранокии фаъолияти шабакаҳои интиқоли нерӯи барқ шаҳодат медиҳад.

4. Муҳокима (Discussions)

Бо вучуди афзалиятҳои зиёди истифодаи энергияи офтоб, ин технология дорои як қатор маҳдудиятҳо мебошад. Пеш аз ҳама, самаранокии панелҳои офтобӣ нисбатан паст буда, танҳо қисми муайяни энергияи офтобро ба нерӯи барқ табдил медиҳанд. Илова бар ин, истеҳсоли нерӯи барқ аз шароити обу ҳаво ва давомнокии равшании рӯз вобастагӣ дошта, дар рӯзҳои абрнок ё шабона ба таври назаррас коҳиш меёбад. Ҳамчунин, ҳарорати баланд метавонад ба самаранокии фотоэлементҳо таъсири манфӣ расонида, иқтидори истеҳсоли онҳоро кам намояд.

Аз ҷиҳати иқтисодӣ низ истифодаи нерӯгоҳҳои офтобӣ сармоягузори аввалияи зиёдро талаб мекунад, зеро харид ва насби панелҳо, инверторҳо ва аккумуляторҳо хароҷоти назаррас доранд. Илова бар ин, барои нигоҳ доштани самаранокии система тозакунии мунтазами панелҳо зарур буда, бо гузашти вақт хусусиятҳои техникаи онҳо тадриҷан коҳиш меёбанд. Аз ин рӯ, ҳангоми татбиқи технологияҳои офтобӣ ба назар гирифтани ин маҳдудиятҳо барои баланд бардоштани самаранокии ва эътимоднокии онҳо аҳамияти муҳим доранд.

5. Хулоса (Conclusions)

Дар мақолаи мазкур истифодаи энергияи офтоб таҳлил шудааст. Дар натиҷаи таҳлил бартарихову камбудии роҳҳои истифодаи энергияи офтоб мушаххас гардидаанд. Қисми зиёди аз ин роҳҳо иборат аз насби панелҳо дар минтақаҳои дурдаст мебошад. Қисми дигар ба истифодаи алгоритми идоракунии пайгирии ҳолати офтоб ва истифодаи панелҳои офтобӣ дар таркиби системаҳои гибридӣ равона шудааст. Инчунин аз таҳлили мазкур бар меояд, ки мақсади корҳои таҳлилшуда ғолибан иборат аз боло бурдани самаранокии таъмини ЭЭ истифодаи энергияи офтоб дар низомҳои гибридӣ, кам кардани вобастагӣ аз газу ангишт ва норасоии ЭЭ аст.

Дар аксари корҳои илмӣ истифодаи панелҳои фотоэлектрикӣ, системаҳои пайгирии офтоб, нерӯгоҳҳои гибридӣ, усулҳои оптимизатсияи иқтидор ва методҳои моделсозӣ ҳамчун роҳҳои асосии коҳиш додани талафоти ЭЭ, кам намудани истеъмоли сӯзишвории маъданӣ, паст кардани партовҳои CO₂ ва баланд бардоштани самаранокии иқтисодиву техникаи системаҳои энергетикӣ пешниҳод гардидаанд. Ҳамзамон, натиҷаҳои таҳқиқот собит менамоянд, ки татбиқи технологияҳои офтобӣ, махсусан дар минтақаҳои дурдаст ва аз шабакаҳои марказии барқ дур ҷойгиршуда, метавонад алтернативаи аз ҷиҳати иқтисодӣ асоснок ва аз ҷиҳати экологӣ устувор ба шабакаҳои анъанавии таъминоти нерӯи барқ бошад. Бо вучуди фарқият дар объекти таҳқиқот ва усулҳои татбиқ, ҳамаи мақолаҳо аҳамияти рӯзафзунӣ энергияи офтобиро ҳамчун яке аз самтҳои калидии рушди устувори низомии энергетикӣ муосир тасдиқ менамоянд.

Дар оянда баррасии корҳои зерин ба нақша гирифта шудааст: таҳлили системаҳои пайгирии офтобӣ як ва думехвара; омӯзиши методҳои пешбини математикӣ; таҷрибаи ба кор бурдани алгоритмҳои ҳуши маснӯӣ барои пешгӯии радиатсияи офтоб дар муддатҳои кӯтоҳ ва дароз; арзёбии адади омилҳои, ки ба радиатсияи офтоб ва воситаҳои истифодаи он таъсири манфӣ мерасонад.

Муқаррир: Қирғизов А.Қ. — қ.т.н., дотсент, дотсенти кафедраи нерӯгоҳҳои электрикӣ ДЭИТ ба номи акадeмик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Clark, M.A. Global food system emissions could preclude achieving the 1.5 and 2°C climate change targets / M.A. Clark, N.G.G. Domingo, K. Colgan et al. // Science. – 2020. – Vol. 370, No. 6517. – P. 705–708. – DOI: 10.1126/science.aba7357.

2. Rogelj, J. Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development / J. Rogelj, D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, M.V. Vilarinho // *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report* / ed. by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner et al. – Cambridge: Cambridge University Press, 2018. – P. 93–174. – DOI: 10.1017/9781009157940.004.
3. Wang, X. Toward Low-Carbon Power Systems: Reviewing Life Cycle Carbon Footprints of Diverse Generation Pathways / X. Wang, L. Guo, G. Xue, J. Tan, W. Niu, Y. Wu // *Energies*. – 2025. – Vol. 18, No. 24. – Art. 6413. – DOI: 10.3390/en18246413.
4. Yousuf, M.U. Life cycle assessment of lignite-fueled ultra-supercritical coal-fired power plant with evaluation of solar energy integration / M.U. Yousuf, M.A. Siddiqui, M. Kumar, M. Umair // *Fuel*. – 2025. – Vol. 385. – Art. 134079. – DOI: 10.1016/j.fuel.2024.134079.
5. Bamisile, O. The environmental factors affecting solar photovoltaic output / O. Bamisile, C. Acen, D. Cai, Q. Huang, I. Staffell // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2025. – Vol. 208. – Art. 115073. – DOI: 10.1016/j.rser.2024.115073.
6. Smith, M. Life cycle assessment of New Jersey offshore wind / M. Smith, N. Shoaib, P. Lal // *Wind Energy Science*. – 2025. – Vol. 10, No. 7. – P. 1389–1402. – DOI: 10.5194/wes-10-1389-2025.
7. Zhou, Z. Evolution of Grid Services for Deep Decarbonization: The Role of Hydropower / Z. Zhou, T. Levin, A. Botterud // *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*. – 2024. – Vol. 11, No. 4. – P. 145–155. – DOI: 10.1007/s40518-024-00245-6.
8. International Energy Agency. Global Energy Review 2026: Electricity supply [Электронный ресурс]. – Paris: IEA, 2026. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/electricity-supply> (дата обращения: 26.07.2026).
9. Воеводин, И.Г. Использование солнечной энергии для повышения эффективности электроснабжения труднодоступных населенных пунктов / И.Г. Воеводин // *Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III российской молодежной научной школы-конференции, Томск, 21–23 октября 2015 г.* / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: СКАН, 2015. – С. 131–134.
10. Бубенчиков, А.А. Солнечная энергия как источник электрической энергии / А.А. Бубенчиков, Е.Е. Нурахмет, В.О. Молодых, А.И. Руденок // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2016. – № 5 (47). – С. 59–62. – DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.288.
11. Шарифов, Б.Н. Разработка программы одноосевой системы слежения за Солнцем / Б.Н. Шарифов, Ш.М. Султонзода, Х.Р. Замонов, Н.Д. Шарипов, Ф.М. Рахимов, Ш.А. Бобозода // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. – 2024. – № 3 (67). – С. 12–16.
12. Шарифов, Б.Н. Построение системы управления фотоэлектрической установки на основе методов нечеткой логики / Б.Н. Шарифов // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. – 2023. – № 4 (64). – С. 18–23.
13. Гаврилов, В.Г. Потенциал возобновляемых источников энергии в Амурской области / В.Г. Гаврилов, А.Н. Козлов // *Вестник АмГУ*. – 2017. – Вып. 77. – С. 74–78.
14. Соснина, Е.Н. Методика выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии для локальных энергосистем / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева*. – 2012. – № 3 (96). – С. 215–220.
15. Коновалов, Ю.В. Развитие электроэнергетических и возобновляемых источников энергии в Республике Узбекистан / Ю.В. Коновалов, С.А. Тохтасунов // *Вестник Ангарского государственного технического университета*. – 2024. – № 18. – С. 47–51. – DOI: 10.36629/2686-777X-2024-1-18-47-51.
16. Степанов, М.В. Солнечные панели: эффективное решение для экологически чистой энергетики / М.В. Степанов, М.М. Стульгинский // *Вестник науки*. – 2024. – № 7 (76). – Т. 2. – С. 535–541.
17. Бабаев, Ф.Б. Характеристики использования солнечной энергии / Ф.Б. Бабаев // *Вестник науки*. – 2023. – № 2 (59). – Т. 2. – С. 274–283.
18. Барина, В.А. Особенности развития возобновляемых источников энергии в России и в мире / В.А. Барина, Т.А. Ланьшина // *Российское предпринимательство*. – 2016. – Т. 17, № 2. – С. 259–270. – DOI: 10.18334/rp.17.2.2214.
19. Ковальчук, Ю.Л. Состояние и перспективы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом комплексе России / Ю.Л. Ковальчук // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2006. – № 3. – С. 237–242.

20. Кашин, Я.М. Методика определения пиковой мощности солнечной батареи для гибридного энергетического комплекса / Я.М. Кашин, И.Б. Самородов, А.А. Белов, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов // Научные труды КубГТУ. – 2024. – № 4. – С. 140–148. – DOI: 10.26297/2312-9409.2024.4.14.

21. Охоткин, Г.П. Методика расчета мощности солнечных электростанций / Г.П. Охоткин // Вестник Чувашского университета. – 2013. – № 3. – С. 222–230.

22. Губайдуллин, К. Использование возобновляемых источников энергии на нефтегазовых предприятиях / К. Губайдуллин // Universum: технические науки. – 2024. – № 8 (125). – DOI: 10.32743/UniTech.2024.125.8.18109.

23. Аббасова, Т.С. Оценка экономической эффективности возобновляемых источников энергии для информационно-вычислительных комплексов и управляющих систем / Т.С. Аббасова, Н.В. Логачева, Н.П. Сидорова // Вопросы региональной экономики. – 2015. – № 4 (25). – С. 167–177.

Reference

1. Clark, M.A. Global food system emissions could preclude achieving the 1.5 and 2°C climate change targets / M.A. Clark, N.G.G. Domingo, K. Colgan et al. // Science. – 2020. – Vol. 370, No. 6517. – P. 705–708. – DOI: 10.1126/science.aba7357.

2. Rogelj, J. Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development / J. Rogelj, D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, M.V. Vilariño // Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report / ed. by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner et al. – Cambridge: Cambridge University Press, 2018. – P. 93–174. – DOI: 10.1017/9781009157940.004.

3. Wang, X. Toward Low-Carbon Power Systems: Reviewing Life Cycle Carbon Footprints of Diverse Generation Pathways / X. Wang, L. Guo, G. Xue, J. Tan, W. Niu, Y. Wu // Energies. – 2025. – Vol. 18, No. 24. – Art. 6413. – DOI: 10.3390/en18246413.

4. Yousuf, M.U. Life cycle assessment of lignite-fueled ultra-supercritical coal-fired power plant with evaluation of solar energy integration / M.U. Yousuf, M.A. Siddiqui, M. Kumar, M. Umair // Fuel. – 2025. – Vol. 385. – Art. 134079. – DOI: 10.1016/j.fuel.2024.134079.

5. Bamisile, O. The environmental factors affecting solar photovoltaic output / O. Bamisile, C. Acen, D. Cai, Q. Huang, I. Staffell // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2025. – Vol. 208. – Art. 115073. – DOI: 10.1016/j.rser.2024.115073.

6. Smith, M. Life cycle assessment of New Jersey offshore wind / M. Smith, N. Shoaib, P. Lal // Wind Energy Science. – 2025. – Vol. 10, No. 7. – P. 1389–1402. – DOI: 10.5194/wes-10-1389-2025.

7. Zhou, Z. Evolution of Grid Services for Deep Decarbonization: The Role of Hydropower / Z. Zhou, T. Levin, A. Botterud // Current Sustainable/Renewable Energy Reports. – 2024. – Vol. 11, No. 4. – P. 145–155. – DOI: 10.1007/s40518-024-00245-6.

8. International Energy Agency. Global Energy Review 2026: Electricity supply [Электронный ресурс]. – Paris: IEA, 2026. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/electricity-supply> (дата обращения: 26.07.2026).

9. Voevodin, I.G. Use of Solar Energy to Improve the Efficiency of Power Supply to Remote Settlements / I.G. Voevodin // Energy, Electromechanics and Energy-Efficient Technologies through the Eyes of Young Researchers: Proceedings of the III Russian Youth Scientific School-Conference, Tomsk, October 21–23, 2015 / National Research Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: SKAN, 2015. – P. 131–134.

10. Bubenchikov, A.A. Solar Energy as a Source of Electrical Energy / A.A. Bubenchikov, E.E. Nurakhmet, V.O. Molodykh, A.I. Rudenok // International Research Journal. – 2016. – No. 5 (47). – P. 59–62. – DOI: 10.18454/IRJ.2016.47.288.

11. Sharifov, B.N. Development of a Program for a Single-Axis Solar Tracking System / B.N. Sharifov, Sh.M. Sultonzoda, Kh.R. Zamonov, N.D. Sharipov, F.M. Rakhimov, Sh.A. Bobozoda // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2024. – No. 3 (67). – P. 12–16.

12. Sharifov, B.N. Development of a Control System for a Photovoltaic Installation Based on Fuzzy Logic Methods / B.N. Sharifov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2023. – No. 4 (64). – P. 18–23.

13. Gavrilov, V.G. Potential of Renewable Energy Sources in the Amur Region / V.G. Gavrilov, A.N. Kozlov // Vestnik of Amur State University. – 2017. – Iss. 77. – P. 74–78.

14. Sosnina, E.N. Methodology for Selecting the Optimal Combination of Renewable Energy Sources for Local Energy Systems / E.N. Sosnina, A.V. Shalukho // Proceedings of Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev. – 2012. – No. 3 (96). – P. 215–220.

15. Konovalov, Yu.V. Development of Electric Power and Renewable Energy Sources in the Republic of Uzbekistan / Yu.V. Konovalov, S.A. Tokhtasunov // Bulletin of Angarsk State Technical University. – 2024. – No. 18. – P. 47–51. – DOI: 10.36629/2686-777X-2024-1-18-47-51.
16. Stepanov, M.V. Solar Panels: An Effective Solution for Environmentally Friendly Energy / M.V. Stepanov, M.M. Stulginsky // Vestnik Nauki. – 2024. – No. 7 (76). – Vol. 2. – P. 535–541.
17. Babaev, F.B. Characteristics of Solar Energy Use / F.B. Babaev // Vestnik Nauki. – 2023. – No. 2 (59). – Vol. 2. – P. 274–283.
18. Barinova, V.A. Features of the Development of Renewable Energy Sources in Russia and Worldwide / V.A. Barinova, T.A. Lanshina // Russian Entrepreneurship. – 2016. – Vol. 17, No. 2. – P. 259–270. – DOI: 10.18334/rp.17.2.2214.
19. Kovalchuk, Yu.L. State and Prospects for the Use of Non-Conventional and Renewable Energy Sources in the Fuel and Energy Complex of Russia / Yu.L. Kovalchuk // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2006. – No. 3. – P. 237–242.
20. Kashin, Ya.M. Methodology for Determining the Peak Power of a Solar Battery for a Hybrid Energy Complex / Ya.M. Kashin, I.B. Samorodov, A.A. Belov, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov // Scientific Proceedings of Kuban State Technological University. – 2024. – No. 4. – P. 140–148. – DOI: 10.26297/2312-9409.2024.4.14.
21. Okhotkin, G.P. Methodology for Calculating the Power of Solar Power Plants / G.P. Okhotkin // Bulletin of Chuvash University. – 2013. – No. 3. – P. 222–230.
22. Gubaidullin, K. Use of Renewable Energy Sources at Oil and Gas Enterprises / K. Gubaidullin // Universum: Technical Sciences. – 2024. – No. 8 (125). – DOI: 10.32743/UniTech.2024.125.8.18109.
23. Abbasova, T.S. Assessment of the Economic Efficiency of Renewable Energy Sources for Information and Computing Complexes and Control Systems / T.S. Abbasova, N.V. Logacheva, N.P. Sidorova // Regional Economics Issues. – 2015. – No. 4 (25). – P. 167–177.

Маълумот оид ба муаллиф:

Бобозода Шукруллоҳ Абдугафтор, ассистенти кафедраи неруғохҳои электрикӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. E-mail: shukrullohbobozoda3@gmail.com

Сведения об авторе:

Бобозода Шукруллоҳ Абдугафтор, ассистент кафедры электрических станций, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. E-mail: shukrullohbobozoda3@gmail.com

Information about the author:

Bobozoda Shukrulloh Abdughafor, Assistant, Department of Electric Power Plants, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. E-mail: shukrullohbobozoda3@gmail.com