ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

UDK: 621.311.24 + 620.92 + 621.38

GIDROVOLTAIKA: ENERGIYA, EKOLOGIYA VA AQLLI TIZIMLAR UCHUN INNOVATSION YONDASHUV

Paxirdinov X.Z.
ADTI, Qurilish muhandisligi va arxitektura kafedrasi assistenti
Ergashev I.O.
ADTI, k-60-24 guruh, 2-kurs talabasi, Qurilish muhandisligi yo'nalishi

Annotatsiya. Ushbu maqolada gidrovoltaika — suyuqlik va qattiq yuzalar o'rtasidagi interfeys hodisalaridan foydalanib bevosita elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi innovatsion texnologiya — keng ko'lamda tahlil qilinadi. An'anaviy gidroenergetikadan farqli ravishda, gidrovoltaik qurilmalar yirik inshootlarni talab qilmaydi va nanomateriallar (grafen, grafen oksidi, polimerlar) asosida kichik hajmli, ekologik toza, avtonom energiya manbalari yaratish imkonini beradi. Maqolada elektr ikki qavat (EDL) mexanizmi, suv tomchilari bilan ishlovchi yuqori voltli (HV) qurilmalar, quyosh-gidrovoltaik gibrid tizimlar va aqlli IoT-infratuzilmasi bilan integratsiya imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Bundan tashqari, mavjud texnologiyalarning quvvat zichligi, barqarorligi va ekologik ta'sir jihatlaridan zaif tomonlari tanqidiy nuqtai nazardan baholanib, kelajak tadqiqot yo'nalishlari tavsiya etiladi.

Kalit so'zlar: gidrovoltaika, nanomateriallar, grafen, elektr ikki qavat (EDL), suv tomchilari, gibrid quyosh batareya, IoT sensorlar, qayta tiklanuvchi energiya.

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of hydrovoltaics — an innovative technology that generates electricity directly from interfacial phenomena between liquids and solid surfaces. Unlike conventional hydropower, hydrovoltaic devices require no large infrastructure and enable the creation of compact, ecologically clean, and autonomous energy sources based on nanomaterials such as graphene, graphene oxide, and polymers. The paper examines the electrical double layer (EDL) mechanism, high-voltage (HV) droplet-based devices, solar-hydrovoltaic hybrid systems, and integration prospects with smart IoT infrastructure. Furthermore, the weaknesses of existing technologies in terms of power density, stability, and ecological impact are critically assessed, and future research directions are recommended.

Keywords: hydrovoltaics, nanomaterials, graphene, electrical double layer (EDL), water droplets, hybrid solar cell, IoT sensors, renewable energy.

Аннотация. В данной статье подробно анализируется гидровольтаика — инновационная технология, использующая явления интерфейса между жидкостью и твердыми поверхностями для прямого производства электроэнергии. В отличие от традиционной гидроэнергетики, гидровольтаические установки не требуют крупных сооружений и позволяют

создавать малогабаритные, экологически чистые, автономные источники энергии на основе наноматериалов (графен, оксид графена, полимеры). В статье рассматриваются возможности интеграции с электрическим двухслойным (EDL) механизмом, высоковольтными (HV) устройствами, работающими с водяными каплями, гибридными истемами солнечной гидроэлектрической энергии и интеллектуальной инфраструктурой IoT. Кроме с того, критически оцениваются слабые стороны существующих технологий с точки зрения плотности мощности, устойчивости и экологического воздействия, а также рекомендуются направления будущих исследований.

Ключевые слова: гидровольтаика, наноматериалы, графен, электрический двойной слой (EDL), капли воды, гибридная солнечная батарея, датчики IoT, возобновляемая энергия.

1. KIRISH.

Zamonaviy sivilizatsiya energiya iste'molining tinimsiz o'sishi bilan yuzlashmoqda. Fosil yoqilg'ilarning tugashi va iqlim o'zgarishi muammolari insoniyatni qayta tiklanuvchi, toza va barqaror energiya manbalarini izlashga undamoqda [1]. Quyosh va shamol energetikasi sohasida erishilgan yutuqlarga qaramay, bu manbalar uzlukli tabiatga ega: quyoshli kunlarda va qulay shamol sharoitidagina ishlay oladi. Aynan shu borada gidrovoltaika — suvning tabiiy aylanishidan tinmay elektr energiyasi olish texnologiyasi — muhim alternativ sifatida namoyon bo'ladi.

Yer yuzining taxminan 71% suvdan iborat bo'lib, quyosh energiyasining 70% aynan suv massivlari tomonidan yutiladi [2]. Okeanlardan bug'lanish, kondensatsiya va yog'ingarchilik jarayonlari birgalikda taxminan 40 petavatt energiyani doimo harakatda ushlab turadi — bu ko'rsatkich Yer yutadigan umumiy quyosh energiyasiga teng [3]. Shu ulkan energiya zaxirasidan samarali foydalanish — gidrovoltaikaning asosiy maqsadi.

An'anaviy gidroenergetika (GES) yirik to'g'onlar, suv omborlari va mexanik turbinalarni talab qiladi, bu esa landshaftni tubdan o'zgartiradi va biologik xilma-xillikka zarar yetkazadi [4]. Gidrovoltaika esa tamomila boshqacha yondashuvga asoslanadi: nanomateriallar yuzasida suv molekulalari, ionlar va elektr zaryadlari o'rtasidagi interfeys hodisalaridan foydalanib, hech qanday mexanik harakat yoki yirik inshootsiz elektr energiyasi hosil qiladi. Bu texnologiya fotovoltaikadan farqli ravishda suv aylanishi bilan birga — kecha-kunduz, yomg'irda ham — doimiy ishlay oladi.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi — gidrovoltaikaning ishlash mexanizmlari, material asoslari, qo'llanish sohalari va ekologik ahamiyatini tizimli

ISSN 3030-3907

baholab, mavjud kamchiliklarni aniq ko'rsatib berish hamda kelajak tadqiqot yo'nalishlarini belgilashdir.

2. GIDROVOLTAIK QURILMALARNING ISHLASH MEXANIZMLARI.

2.1. Elektr ikki qavat (EDL) mexanizmi

Gidrovoltaik qurilmalarning energiya ishlab chiqarish jarayonida markaziy o'rin tutuvchi hodisa — elektr ikki qavat (Electrical Double Layer, EDL) shakllanishidir. Suv tomchisi yoki oqim yarimo'tkazgich yoki o'tkazuvchi nanomaterial yuzasiga tushganda, quyidagi jarayon yuz beradi:

–Suyuqlikdagi ionlar yuzaga elektrostatik kuch ta'sirida tortiladi va yuzada diffuz qatlam hosil qiladi;

–Yuzaning o'zida esa qarama-qarshi ishorali zaryad to'planadi (Stern qatlami);

–Bu ikki qatlam orasida potentsial farq (zeta-potentsial) yuzaga keladi;

Tomchi yoki oqim harakat qilganda, ion taqsimoti o'zgarib, o'zgaruvchi EMK signali hosil bo'ladi.

Yuqoridagi jarayon grafen yuzasida alohida samarali kechadi, chunki grafenning sp^2-gibridlashgan uglerod tarmog'i ionlar bilan kuchli π-π va elektrostatik o'zaro ta'sirga kirishadi.

2.2. Kapillyar, bug'lanish va namlanish effektlari

EDLdan tashqari, gidrovoltaik qurilmalarda quyidagi qo'shimcha mexanizmlar ham kuzatiladi. Kapillyar effektida nanopoyli yoki nanostrukturali material ichida suyuqlik tortilganda, ionlar gradiyenti zaryad ajralishiga sabab bo'ladi. Bug'lanish effektida suyuqlikning bug'lanish jarayonida ion konsentratsiya gradiyenti vujudga kelib, diffuzion EMK hosil qiladi. Namlanish-qurishda esa siklik namlanish va qurishda qo'llaniladigan grafen oksidi kabi materiallar signalning barqarorligini ta'minlaydi.

Ushbu mexanizmlarning birgalikda ishlashi, ayniqsa uch o'lchamli (3D) nanostrukturalarda, ion transportini va zaryadlar ajralishini sezilarli darajada optimallashtiradi.

3. NANOMATERIALLAR VA ULARNING FUNKSIONAL ROLI

3.1. Grafen va uning hosilalari

Grafen — bir atomik qalinlikdagi uglerod tarmog'i — gidrovoltaika sohasida eng ko'p qo'llaniladigan material hisoblanadi. Uning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

–Yuqori elektr o'tkazuvchanligi (~10^6 S/m) — zaryadlarni tez uzatish imkonini beradi;

–Katta solishtirma sirt maydoni (~2630 m^2/g) — ionlar bilan keng aloqa yuzasini ta'minlaydi;

–Mexanik mustahkamligi (Yung moduli ~1 TPa) — uzoq muddatli ekspluatatsiyani ta'minlaydi;

ISSN 3030-3907

–Kimyoviy barqarorligi — korroziyaga chidamliligi.

Grafen oksidi (GO) va qaytarilgan grafen oksidi (rGO) esa grafen bilan solishtirganda sirt funksional guruhlariga (–OH, –COOH, –O–) boyroq bo'lib, ular suv molekulalari va ionlar bilan kuchliroq o'zaro ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli GO asosidagi qurilmalar namlik o'zgarishlariga alohida sezgir bo'lib, namlik sensorlari va namlik-elektriki gibridlarida keng qo'llaniladi.

3.2. Polimer va kompozit materiallar

Polipirrol (PPy), PTFE (politetraftoreten) va boshqa polimer asosidagi materiallar gidrovoltaik qurilmalarda qo'shimcha funksional element sifatida ishlatiladi. Masalan, 3D PPy ramkasi suv molekulalarini ichki kanallar bo'ylab tarqatib, ion gradiyenti hisobiga 260 mV gacha kuchlanish hosil qila oladi. PTFE esa triboelektrik qo'shimcha effekt beradi va gibrid qurilmalarda grafen bilan birgalikda quvvatni oshiradi.

4. QOYLLANISH SOHALARI VA TEXNOLOGIK YO'NALISHLAR

4.1. Suv tomchilaridan energiya olish (HV qurilmalar)

2013-yilda Yin va hammuallilari tomonidan ishlab chiqilgan monoqatlamli grafen asosidagi HV qurilma gidrovoltaika tarixida muhim burilish nuqtasi bo'ldi [5]. Ushbu qurilmada SiO_2/Si podlojkada grafen plyonkasi ustida 0,6 M NaCl tomchisi sirpantirilganda quyidagi xarakteristikalar qayd etildi:

–Kuchlanish tomchi tezligi va hajmiga chiziqli bog'liq;
–Optimal NaCl konsentratsiyasi: ~0,01 M;
–Maksimal potensial DI suv bilan: ~1,0 V;
–Parallel ulangan bir necha qurilma o'nlab LED lampalarni yoqa oladi.

Muhim kuzatuv: qarama-qarshi yo'nalishlarda harakatlanuvchi bir necha tochi mavjud bo'lganda, ularning signallari bir-birini bekor qilishi — ya'ni chiqish kuchlanishi nolga yaqinlashishi — aniqlanganligini ta'kidlash lozim. Bu amaliy tizimlar uchun tomchilar oqim yo'nalishini birlashtirishni talab etadi.

4.2. Gibrid quyosh-gidrovoltaik tizimlar

An'anaviy fotovoltaik qurilmalar faqat quyoshli ob-havoda samarali ishlaydi. Tang va boshqalar tomonidan ishlab chiqilgan gibrid batareyada shaffof grafen elektrodi bo'yoqqa sezgir quyosh batareyasi (DSSC) bilan birlashtirilgan [6]. Natijalar:

–AM 1,5 quyosh nurlanishi ostida quvvat o'tkazish samaradorligi: 6,53%;
–Yomg'ir tomchilari bilan: 5–54 μW quvvat;
–Keyingi versiyada grafen/uglerod qora/PTFE kompoziti bilan almashtirilganda ham kuchlanish va tok sezilarli oshmadi.

Muhim kamchilik: mavjud gibrid tizimlarning chiqishi hali amaliy iste'mol darajasidan past — bir necha o'nlab mikrovatt, holbuki kichik IoT sensorlari uchun

ISSN 3030-3907

kamida 100 μW zarur. Ushbu tafovutni bartaraf etish uchun qo'shimcha tadqiqot zarur.

4.3. Avtonom suyuqlik sensorlari

Gidrovoltaik qurilmalarning o'ziga xos muhim qo'llanish sohasi — ular tashqi batareyasiz ishlaydigan sensorlar sifatida foydalanilishidir. Bunday sensorlar quyidagi parametrlarni o'lchay oladi:

–Tomchi tezligi va hajmi — suv sarfini nazorat qilish;

–Eritma ionik tarkibi — suv sifatini monitoring qilish;

–Namlik o'zgarishlari — atrof-muhit monitoringi;

–Oqim shakli (laminar/turbulent) — sanoat quvurlarini diagnostika qilish;

–Grafen yuzasida yozuv yo'nalishi — smart yuzalar va biometrik identifikatsiya.

5. AQLLI TIZIMLAR (IoT) BILAN INTEGRATSIYA.

Gidrovoltaik texnologiyalarning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri ularni Internet of Things (IoT) tizimlari bilan birlashtirish hisoblanadi. IoT qurilmalari batareyasiz ishlashi uchun odatda 1–100 μW quvvat talab qiladi — bu ko'rsatkich gidrovoltaik qurilmalarning mavjud quvvat diapazoni bilan mos keladi.

IoT-integratsiya quyidagi yo'nalishlarda faol rivojlanmoqda:

–Aqlli qishloq xo'jaligi: tuproq namligi, yomg'ir intensivligi va suv sarfini real vaqtda kuzatish — batareyasiz, simsiz;

–Sog'liqni saqlash monitoringi: biologik suyuqliklar (qon, limfa) harakati asosida implantat sensorlari;

–Smart shaharsozlik: yo'l usti yomg'ir sensorlari, kanal oqimi nazorati, ko'prik tebranish monitoritingi;

–Sanoat diagnostikasi: quvur tizimlaridagi oqim anomaliyalari va sizish erta aniqlanishi.

Ushbu integratsiyaning eng katta strategik afzalligi — autonumiya. Uzoq hududlardagi yoki batareya almashtirib bo'lmaydigan joylardagi qurilmalar (masalan, dengiz ostidagi sensorlar, ichimlik suv quvurlari ichidagi kuzatuv tizimlari) gidrovoltaika orqali o'nlab yillar muddatga mustaqil ishlashi mumkin.

6. EKOLOGIK VA IQTISODIY BAHOLASH

6.1. Ekologik afzalliklar

GES (gidroelektr stansiyalar) va issiqlik elektr stansiyalari bilan solishtirganda, gidrovoltaik qurilmalar quyidagi ekologik afzalliklarga ega:

–Landshaft o'zgarmaydi — to'g'on, suv ombori, bosib qolingan yer yo'q;

–Biologi oqim buzilmaydi — baliq, suv o'simliklari va daryo ekosistemasi saqlanadi;

–Issiqxona gazi chiqarilmaydi — nol uglerod izi;

–Material chiqindisi minimal — grafen nanostrukturalar kichik hajmli va chiqindi kamligi bilan ajralib turadi.

ISSN 3030-3907

6.2. Mavjud kamchiliklar va muammolar

Maqolada muhokama qilingan muvaffaqiyatlarga qaramasdan, gidrovoltaika hozircha qator muhim cheklovlarga ega, ularni ochiq tan olish ilmiy halollikni taqozo etadi:

–Quvvat zichligi past: mavjud qurilmalar bir necha o'nlab mikrovatdan oshmaydigan quvvat ishlab chiqaradi. Aksariyat turmush ehtiyojlari uchun bu yetarli emas;

–Masshtablash qiyin: nanotexnologiyaga asoslangan qurilmalarni sanoat miqyosida arzon narxda ishlab chiqarish hali hal etilmagan muammo;

–Uzoq muddatli barqarorlik sinalmagan: grafen va boshqa nanomateriallarning yillar davomida namlik va korroziv muhitda saqlanishi to'liq o'rganilmagan;

–Atrof-muhitga ta'sir noaniq: grafenning ekotizimga, suv organizmlariga va insonlarga uzoq muddatli ta'siri hali yetarlicha tadqiq etilmagan — bu ekologik "toza" degan da'voni to'liq asoslab bo'lmaydigan muammodir;

–Iqlimga bog'liqlik: qurilmalarning samaradorligi tomchi intensivligi, namlik darajasi va haroratga bog'liq bo'lib, barcha iqlim zonalarida bir xil natija bermaydi.

Yuqoridagi kamchiliklar tadqiqotchilar va muhandislar uchun aniq yo'nalishlarni belgilaydi va ushbu yo'nalishlarda izlanishni davom ettirish maqolaning eng muhim ilmiy xulosalaridan biri hisoblanadi.

7. KELAJAK TADQIQOT YO'NALISHLARI

Gidrovoltaikani amaliyotga tatbiq etish uchun quyidagi yo'nalishlar birinchi navbatda hal etilishi lozim:

–Yangi materiallar sintezi: molibden disulfid (MoS_2), bor nitridi va gidrojel kompozitlari asosida yuqori quvvat zichligi va barqarorligi bilan ajralib turuvchi yangi qurilmalar yaratish;

–Masshtablash strategiyasi: roll-to-roll texnologiyasi va aerozol purkash usullari yordamida katta maydonda, arzon narxda grafenli plyonkalar ishlab chiqarish;

–Ekotoksikologik tadqiqotlar: grafenning va boshqa nanomateriallarning biologik va ekologik xavfsizligini tizimli o'rganish, standartlar ishlab chiqish;

–Gibrid arxitekturalar: gidrovoltaik + triboelektrik + termoelektrik elementlarni bir qurilmada birlashtirib, quvvat zichligini bir necha millivattgacha oshirish;

–Sun'iy intellekt va prognozlash: IoT-infratuzilmasiga ulangan gidrovoltaik sensorlardan yig'ilgan ma'lumotlarni AI-modellarda tahlil qilib, atrof-muhit va sanoat jarayonlarini optimal boshqarish.

8. XULOSA.

ISSN 3030-3907

Gidrovoltaika — zamonaviy nanofizika, materialshunoslik va energetika muhandisligining kesishmasida shakllangan istiqbolli ilmiy yo'nalish. Ushbu texnologiya suv tomchilarining, oqimlarining va namlikning tabiiy harakatidan foydalanib, hech qanday mexanik turbina yoki yirik inshootsiz to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasi hosil qiladi. Elektr ikki qavat (EDL) mexanizmi, grafen va uning hosilalari, shuningdek gibrid quyosh-gidrovoltaik tizimlar ushbu sohadagi asosiy ilmiy yutuqlar sifatida ko'rsatildi.

Biroq maqola mualliflari o'z tadqiqotida mavjud texnologiyalarning real cheklovlarini ham ochiq tan olishni lozim topdi: past quvvat zichligi, masshtablash muammolari, uzoq muddatli barqarorlikning sinalmagan bo'lishi va nanomateriallarning ekotoksikologik tavakkalchiligi — bu muammolarni hal etmasdan, gidrovoltaikani to'liq sanoat darajasiga chiqarish mumkin emas.

Kelajakda yangi materiallar, hibrid arxitekturalar va sun'iy intellekt bilan integratsiya gidrovoltaikani global energiya muammolarining real yechimiga aylantirishi mumkin. Bu texnologiya ayniqsa kichik masshtabli avtonom sensorlar, aqlli qishloq xo'jaligi va uzoq hududlardagi monitoring tizimlarida eng yaqin istiqbolda amaliy tatbiq topishi kutilmoqda.

ADABIYOTLAR

1. Hassan Q., Viktor P., Al-Musaviy J.T. va boshqalar. Global energetika transformatsiyalarida qayta tiklanadigan energiyaning roli. Energetika tadqiqotlari jurnali, 2023.
2. Trenberth K.E., Smith L. The mass of the atmosphere: A constraint on global analyses. Journal of Climate, 18(6), 864–875, 2005.
3. Wild M. va boshqalar. The global energy balance from a surface perspective. Climate Dynamics, 40, 3107–3134, 2013.
4. Poff N.L. va boshqalar. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA). Freshwater Biology, 55, 147–170, 2010.
5. Yin J. va boshqalar. Generating electricity by moving a droplet of ionic liquid along graphene. Nature Nanotechnology, 9(5), 378–383, 2014.
6. Tang W. va boshqalar. Hybridized graphene electrodes for all-weather photovoltaic and hydrovoltaic hybrid devices. Advanced Energy Materials, 10(13), 1903251, 2020.
7. Zheng C., Fang S., Chu W. va boshqalar. Gidrovoltaik effektlarni o'rganishda elektrodlarning roli. Nanoenergiya, 2022.
8. Zhu G. va boshqalar. Self-powered, ultralow-power, and highly sensitive triboelectric active sensors. Advanced Materials, 26(23), 3788–3796, 2014.

ISSN 3030-3907