ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 6

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

QUYOSH BATAREYALARIDAN SAMARALI FOYDALANISH ORQALI UTILIZATSIYA MUAMMOSINI OLDINI OLISH TEXNOLOGIYALARINING ILMIY-TAHLILIY ASOSLARI

To‘rayev Dostonjon Erkin o‘g‘li
Qarshi xalqaro universiteti, fizika fani o‘qituvchisi
E-mail: dostonjonturayev147@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada quyosh batareyalarining xizmat muddati yakunlangandan keyingi utilizatsiya muammolarini kamaytirish va ularning hayotiy siklini uzaytirish masalalari bo‘yicha dunyo miqyosida olib borilgan 10 ta yetakchi ilmiy tadqiqot tahlil qilinadi. Tadqiqotlarda qayta ishlash texnologiyalari, EVA qatlamini ajratish usullari, qimmatbaho materiallarni qayta tiklash, iqtisodiy samaradorlik hamda aylana iqtisodiyot tamoyillari qiyosiy baholanadi. Har bir manbaning ilmiy yutuqlari va cheklovlari aniqlanib, quyosh batareyalaridan samarali foydalanish orqali kelajakdagi chiqindi hajmini kamaytirishga qaratilgan integratsiyalashgan texnologik yechim taklif etiladi.

Kalit so‘zlar: quyosh batareyasi, utilizatsiya, qayta ishlash, EVA, aylana iqtisodiyot, resurslarni qayta tiklash, ekologik xavfsizlik.

Аннотация. В данной статье анализируются 10 ведущих научных исследований, проведенных по всему миру, посвященных решению проблем утилизации солнечных элементов после окончания срока их службы и продлению их жизненного цикла. В исследованиях сравниваются технологии переработки, методы разделения слоев ЭВА, извлечение ценных материалов, экономическая эффективность и принципы циркулярной экономики. Выявлены научные достижения и ограничения каждого источника, а также предложено комплексное технологическое решение для сокращения будущих отходов за счет эффективного использования солнечных элементов.

Ключевые слова: солнечные элементы, утилизация, переработка, ЭВА, циркулярная экономика, извлечение ресурсов, экологическая безопасность.

Abstract. This article analyzes 10 leading scientific studies conducted worldwide on reducing the disposal problems of solar cells after their service life and extending their life cycle. The studies compare recycling technologies, EVA layer separation methods, recovery of valuable materials, economic efficiency, and circular economy principles. The scientific achievements and limitations of each source are identified and an integrated technological solution is proposed to reduce future waste through the effective use of solar cells.

Keywords: solar cell, disposal, recycling, EVA, circular economy, resource recovery, environmental safety.

KIRISH.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida quyosh energetikasi eng jadal rivojlanayotgan yo‘nalishlardan biridir. Biroq, quyosh batareyalari sonining keskin

ortishi yaqin kelajakda ularning xizmat muddati tugashi bilan bog‘liq katta hajmdagi chiqindilar muammosini yuzaga keltiradi. Xalqaro bashoratlarga ko‘ra, 2050-yilga borib dunyoda foydalanishdan chiqqan quyosh batareyalari chiqindilari 60–78 million tonnaga yetishi mumkin. Shu sababli, utilizatsiya muammosini faqat chiqindini qayta ishlash orqali emas, balki quyosh batareyalarining xizmat muddatini uzaytirish, qayta foydalanish va resurslarni maksimal darajada qayta tiklash orqali hal etish muhimdir.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Mazkur maqola Scopus va Web of Science bazalarida indekslangan 10 ta nufuzli ilmiy manbaning qiyosiy tahliliga asoslanadi. Tadqiqotlarda quyidagi mezonlar asosida baholash amalga oshirildi:

- texnologik samaradorlik;
- materiallarni qayta tiklash darajasi;
- iqtisodiy rentabellik;
- ekologik xavfsizlik;
- sanoat miqyosida qo‘llash imkoniyati.

ASOSIY QISM.

1. Quyosh batareyalari chiqindilari muammosining global ko‘lami

Chowdhury va hammualliflari (2020) o‘zlarining *“Forecasting Waste Generation from Solar Photovoltaic Systems”* nomli tadqiqotida quyosh batareyalari chiqindilarining eksponentsial o‘sishini matematik modellashtirgan. Mualliflar yaqin o‘n yilliklarda quyosh batareyalari chiqindilarining jadal ortishini ko‘rsatadi. Ushbu ishning yutug‘i – global bashoratlash modeli yaratilganidir. Kamchiligi esa hududiy farqlar va texnologik yangilanishlarning yetarlicha hisobga olinmaganidadir.

IRENA va IEA-PVPS (2023) hisobotida esa quyosh batareyalari chiqindilarini iqtisodiy resurs sifatida ko‘rish konsepsiyasi ilgari suriladi. Hisobotga ko‘ra, foydalanishdan chiqqan quyosh batareyalaridan milliardlab dollarlik ikkilamchi xomashyo olish mumkin.

2. Qayta ishlash texnologiyalarining evolyutsiyasi

Celep, Deveci va Yazici (2025) tomonidan tayyorlangan *“Advances in Photovoltaic Module Recycling Technologies: A Comprehensive Review”* maqolasi quyosh batareyalarini qayta ishlash usullarining eng batafsil sharhlaridan biridir. Mualliflar mexanik, termik, kimyoviy va gibrid texnologiyalarni qiyosiy tahlil qilgan.

Ularning xulosasiga ko‘ra, gibrid texnologiyalar eng yuqori samaradorlikni ta’minlaydi. Ayniqsa, kremniy va kumushni yuqori tozalikka ega holda qayta tiklash imkoniyati muhim yutuq hisoblanadi. Biroq, jarayonning energiya sarfi yuqori bo‘lib qolmoqda.

ISSN 3030-3907

3. EVA qatlamini ajratish muammosi

Quyosh batareyalari qayta ishlashdagi eng murakkab bosqich EVA (etilen-vinilatsetat) qatlamini ajratishdir. Ali va hammualliflari (2024) *"Hybrid Laser and High-Voltage Pulse Technologies for Photovoltaic Module Delamination"* tadqiqotida lazer va yuqori kuchlanish impulslarini birlashtirgan innovatsion usulni taklif etadi.

Mazkur usul:

- delaminatsiya vaqtini qisqartiradi;
- shisha sinishini kamaytiradi;
- material yo‘qotilishini minimallashtiradi.

Kamchiligi – uskunaning qimmatligi va sanoatga joriy etish xarajatlarining yuqoriligidir.

4. Kimyoviy qayta ishlashning afzalliklari va cheklovlari

Dias va hammualliflari (2019) kimyoviy qayta ishlash orqali kremniyni 95 % dan ortiq tozalikda tiklash mumkinligini isbotlagan. Ularning *"Chemical Recycling of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules"* maqolasi yuqori sof material olish bo‘yicha muhim manbadir.

Afzalliklari:

- yuqori tozalikka ega kremniy;
- kumush va misni samarali ajratish;
- yarimo‘tkazgich sanoatida qayta foydalanish imkoniyati.

Kamchiligi:

- kimyoviy reagentlar sarfi katta;
- chiqindi eritmalarni zararsizlantirish zarur.

5. Sanoat miqyosidagi texnologiyalar

Wei va hammualliflari (2025) *"Industrial-Scale Recycling Pathways for Crystalline Silicon Photovoltaic Modules"* maqolasida laboratoriya usullarini sanoat miqyosiga ko‘chirish masalalarini o‘rganadi. Mualliflar avtomatlashtirilgan demontaj liniyalarining iqtisodiy samaradorligini ko‘rsatgan. Yutug‘i – texnologiyaning real sanoat sharoitida qo‘llanishi. Kamchiligi – dastlabki kapital investitsiya hajmining kattaligi.

6. Resurslarni qayta tiklash samaradorligi

Gahlot va hammualliflari (2022) o‘z tadqiqotida quyosh batareyalaridan kumush, alyuminiy, mis va kremniyni qayta tiklash imkoniyatlarini baholagan. Ularning natijalariga ko‘ra, quyosh batareyalari massasining 90–95 % gacha bo‘lgan qismi qayta ishlanishi mumkin. Bu natija quyosh batareyalari chiqindilarini chiqindi emas, balki ikkilamchi xomashyo manbai sifatida ko‘rish zarurligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

7. Aylana iqtisodiyot yondashuvi

Torrónteguі-Chávez va hammualliflari (2026) *"Systemic Approaches for End-of-Life Photovoltaic Waste Management"* maqolasida quyosh batareyalari uchun aylana iqtisodiyot modelini taklif etadi. Ushbu model quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

- dizayn bosqichida qayta ishlashga moslashtirish;
- ta’mirlash va qayta foydalanish;
- modulli konstruksiya;
- to‘liq material tiklash.

Bu yondashuv utilizatsiya muammosini paydo bo‘lishidan oldin oldini olishga xizmat qiladi.

8. Hayotiy sikl monitoringi va raqamlashtirish

Zhang va hammualliflari (2024) blokcheyn asosidagi kuzatuv tizimini taklif etgan. Bu texnologiya quyosh batareyalarining ishlab chiqarilishidan tortib utilizatsiyasigacha bo‘lgan barcha bosqichlarini nazorat qilish imkonini beradi.

Afzalliklari:

- shaffoflik;
- kuzatuvchanlik;
- qayta ishlash logistikasini optimallashtirish.

9. Global siyosat va boshqaruv tajribasi

Nain va Kumar (2022) turli mamlakatlardagi quyosh batareyalari chiqindilarini boshqarish siyosatini tahlil qilgan. Ularning xulosasiga ko‘ra, kengaytirilgan ishlab chiqaruvchi mas’uliyati (EPR) modeli eng samarali yondashuv hisoblanadi.

10. Integratsiyalashgan texnologik model

Yuqoridagi 10 ta tadqiqot natijalarini umumlashtirib, quyidagi kompleks model taklif etiladi: 1. Quyosh batareyalari dizaynini demontajga moslashtirish. 2. EVA qatlamini lazer-impuls usuli bilan ajratish. 3. Qimmatbaho metall va kremniyni kimyoviy qayta tiklash. 4. Blokcheyn asosida hayotiy sikl monitoringi. 5. EPR asosida iqtisodiy boshqaruv tizimini joriy etish.

NATIJALAR VA MUHOKAMA. Qiyosiy tahlil shuni ko‘rsatadiki, alohida texnologiyalar muammoning faqat ma’lum qismini hal qiladi. Eng yuqori samaradorlikka esa mexanik, termik, kimyoviy va raqamli texnologiyalarni birlashtirgan integratsiyalashgan yondashuv orqali erishiladi.

Taklif etilayotgan model quyidagilarni ta’minlaydi:

- chiqindilar hajmini kamaytirish;
- resurslarni maksimal qayta tiklash;
- iqtisodiy foyda oshishi;

ISSN 3030-3907

•ekologik xavfsizlikning kuchayishi.

XULOSA. O‘rganilgan 10 ta ilmiy manba tahlili shuni ko‘rsatadiki, quyosh batareyalarini utilizatsiya qilish muammosini samarali hal etish uchun faqat qayta ishlash yetarli emas. Asosiy e’tibor quyosh batareyalarining butun hayotiy siklini boshqarishga qaratilishi lozim. Ayniqsa, dizayn bosqichidan boshlab qayta ishlashga mos konstruksiyalar yaratish, EVA qatlamini samarali ajratish, qimmatbaho materiallarni yuqori darajada tiklash va raqamli monitoring tizimlarini joriy etish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Shunday qilib, quyosh batareyalaridan samarali foydalanish orqali utilizatsiya muammosining oldini olish mumkin. Bu esa nafaqat ekologik xavfsizlikni ta’minlaydi, balki yangi iqtisodiy imkoniyatlarni ham yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Celep, O., Deveci, H., & Yazici, E. Y. (2025). Advances in photovoltaic module recycling technologies: A comprehensive review.
2. Torróntegui-Chávez, G., et al. (2026). Systemic approaches for end-of-life photovoltaic waste management within circular economy frameworks.
3. Wei, G., et al. (2025). Industrial-scale recycling pathways for crystalline silicon photovoltaic modules.
4. Nain, P., & Kumar, A. (2022). Photovoltaic waste management and recycling: A global review.
5. Gahlot, R., et al. (2022). Recovery of valuable materials from end-of-life photovoltaic modules.
6. Ali, A., et al. (2024). Hybrid laser and high-voltage pulse technologies for photovoltaic module delamination.
7. Dias, P., et al. (2019). Chemical recycling of crystalline silicon photovoltaic modules.
8. Chowdhury, M. S., et al. (2020). Forecasting waste generation from solar photovoltaic systems.
9. IRENA & IEA-PVPS. (2023). End-of-life management: Solar photovoltaic panels.
10. Zhang, Y., et al. (2024). Blockchain-enabled lifecycle tracking and recycling management for photovoltaic modules.

ISSN 3030-3907