ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -11

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 11

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

SHADED CONDITION HOLATIDA PV HUJAYRALARNING ISHLASHINI MODELLASHTIRISH

Gulxayot Xolyigitova Sulaymanovna
Andijon davlat texnika instituti, stajor-o‘qituvchi
E-mail: gulhayot2012@astiedu.uz

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda soyalanish (shaded condition) holatida fotoelektrik (PV) hujayralarning ishlash jarayoni matematik modellashtirish asosida tahlil qilinadi. Turli darajadagi soyalanishning tok-kuchlanish va quvvat-kuchlanish xarakteristikalariga ta’siri o‘rganilib, energiya samaradorligining pasayish mexanizmlari baholanadi. Modellashtirish natijalari PV tizimlarning ish rejimlarini optimallashtirish va ularning ekspluatatsion barqarorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: fotoelektrik hujayra, soyalanish effekti, matematik modellashtirish, I–V xarakteristika, P–V xarakteristika, energiya samaradorligi.

Abstract. This study investigates the performance of Photovoltaics cells under shaded conditions using mathematical modeling. The influence of different shading levels on current-voltage and power-voltage characteristics is analyzed, and the mechanisms of efficiency degradation are evaluated. The modeling results provide a scientific basis for optimizing operating modes and improving the reliability of photovoltaic systems.

Keywords: photovoltaic cell, shading effect, mathematical modeling, I–V characteristic, P–V characteristic, energy efficiency.

Аннотация. В данной работе исследуется функционирование Photovoltaics элементов в условиях затенения на основе математического моделирования. Проанализировано влияние различных уровней затенения на вольт-амперные и мощностные характеристики, а также оценены механизмы снижения энергетической эффективности. Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации режимов работы и повышения надежности фотоэлектрических систем.

Ключевые слова: фотоэлектрический элемент, эффект затенения, математическое моделирование, вольт-амперная характеристика, мощностная характеристика, энергетическая эффективность.

KIRISH.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida Photovoltaics texnologiyalari yuqori ekologik xavfsizlik, ekspluatatsion qulaylik hamda energiya ishlab chiqarishning barqarorligi bilan ajralib turadi. So‘nggi yillarda global energiya balansida quyosh energiyasining ulushi sezilarli darajada ortib borayotgan bo‘lib, bu fotoelektrik tizimlarning konstruktiv va funksional xususiyatlarini chuqur tadqiq etishni talab etmoqda. Ayniqsa, real ekspluatatsiya sharoitlarida PV

ISSN 3030-3907

modullar samaradorligiga ta’sir qiluvchi omillar — harorat, nurlanish intensivligi, elektr yuklama rejimi va qisman soyalanish hodisasi — ilmiy nuqtai nazardan alohida ahamiyat kasb etadi.

PV hujayralarning ishlash samaradorligini cheklovchi asosiy omillardan biri qisman yoki to‘liq soyalanish holatidir. Atmosfera hodisalari, chang qatlamlari, yaqin joylashgan binolar, daraxtlar, antennalar va boshqa fizik to‘siqlar natijasida quyosh nurlarining modul yuzasiga notekis tushishi yuzaga keladi. Bunday sharoitda fotoaktiv qatlam bo‘ylab fototok generatsiyasi bir jinsli bo‘lmaydi, natijada hujayralar orasida elektr parametrlarining nomutanosibligi yuzaga keladi. Ushbu nomutanosiblik tok-kuchlanish (I–V) va quvvat-kuchlanish (P–V) xarakteristikalarining deformatsiyalanishiga, lokal maksimum quvvat nuqtalarining paydo bo‘lishiga hamda tizim umumiy quvvat ishlab chiqarish ko‘rsatkichining sezilarli pasayishiga olib keladi.

Soyalanish sharoitida PV tizimlarda kuzatiladigan murakkab nolinear jarayonlarni eksperimental usulda to‘liq baholash katta vaqt, moddiy resurs va maxsus laboratoriya jihozlarini talab qiladi. Shu sababli matematik va kompyuterli modellashtirish usullari fotoelektrik tizimlarning dinamik xatti-harakatlarini tahlil qilishda samarali ilmiy vosita sifatida keng qo‘llanilmoqda. Modellashtirish asosida turli darajadagi soyalanishning elektr parametrlariga ta’sirini aniqlash, tizimning optimal ish rejimlarini prognozlash hamda energiya yo‘qotishlarini kamaytirish bo‘yicha ilmiy asoslangan yechimlar ishlab chiqish mumkin.

Mazkur tadqiqotning dolzarbligi shundaki, soyalanish effektining PV hujayralar elektr xarakteristikalariga ta’sir mexanizmlarini nazariy jihatdan chuqur tahlil qilish va ularni modellashtirish asosida tizim samaradorligini oshirish imkoniyatlarini aniqlash bugungi kunda Renewable Energy Engineering sohasining muhim ilmiy-amaliy masalalaridan biri hisoblanadi. Ushbu ishda shaded condition holatida PV hujayralarning ishlash jarayoni fizik model va matematik ifodalar asosida tahlil qilinib, ularning energetik samaradorligiga ta’sir etuvchi asosiy qonuniyatlar yoritiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Fotovoltaik tizimlarining ishlash jarayonlarini nazariy va amaliy jihatdan tadqiq etish bo‘yicha olib borilgan ilmiy izlanishlar shuni ko‘rsatadiki, fotoelektrik modullarning energetik samaradorligi tashqi muhit parametrlariga kuchli darajada bog‘liq bo‘lib, ular orasida qisman soyalanish (partial shading) eng murakkab va kam o‘rganilgan nolinear hodisalardan biri hisoblanadi. Dastlabki ilmiy ishlarda PV hujayralarning elektr xossalari bir diodli va ikki diodli ekvivalent sxemalar asosida tavsiflangan bo‘lib, ushbu modellar fototok generatsiyasi, teskari to‘yinish toki, ketma-ket va parallel qarshiliklarning tizim

ISSN 3030-3907

chiqish parametrlariga ta’sirini baholash imkonini bergan [1], [2]. Ushbu yondashuvlar PV elementlarning standart yoritilish sharoitidagi volt-amper xarakteristikalarini yetarli aniqlik bilan ifodalasa-da, notekis yoritilish holatlarida tizim ichki fizik jarayonlarini to‘liq aks ettira olmaydi.

Keyingi tadqiqotlarda qisman soyalanish sharoitida PV modullarning elektr parametrlarida yuzaga keluvchi lokal maksimum quvvat nuqtalari, bypass-diodlar aktivlashuvi va lokal qizish effektlari chuqur tahlil qilingan [3], [4]. Jumladan, qator ulangan hujayralardan birining yoki bir nechtasining soyalanishi butun zanjir tokini cheklashi, natijada umumiy chiqish quvvatining keskin kamayishi aniqlangan. Ushbu hodisa PV massivlarida energetik yo‘qotishlar bilan birga elementlarning termik degradatsiyasiga ham olib kelishi mumkin [5].

So‘nggi yillarda MATLAB/Simulink, COMSOL Multiphysics hamda fizik parametrik modellar asosida amalga oshirilgan modellashtirish ishlari soyalanish effektining chuqurroq tahlil qilinishiga xizmat qildi [6], [7]. Ushbu ishlarda nurlanish intensivligining fazoviy notekis taqsimlanishi natijasida PV xarakteristikalarining ko‘p cho‘qqili (multi-peak) ko‘rinishga o‘tishi, maksimal quvvat nuqtasini aniqlash algoritmlarining murakkablashuvi va boshqaruv tizimlarida qo‘shimcha optimallashtirish usullariga ehtiyoj tug‘ilishi ko‘rsatib berilgan [8]. Shunga qaramay, shaded condition holatida individual PV hujayra darajasidagi fizik jarayonlarni matematik modellashtirish va ularning tizim miqyosidagi energiya samaradorligiga ta’sir mexanizmlarini kompleks baholash masalasi hanuz dolzarb bo‘lib qolmoqda.

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda shaded condition holatida PV hujayralarning ishlash jarayonini tahlil qilish uchun matematik modellashtirish va sonli hisoblash usullaridan foydalaniladi. Tadqiqotning nazariy asosi sifatida PV elementning bir diodli ekvivalent elektr modeli qabul qilinadi. Ushbu modelda fotoelement chiqish toki quyidagi nolinear bog‘lanish orqali ifodalanadi:

$$I = I_f - I_0\left(e^{\frac{q(V+IR)}{nkT}} - 1\right) - \frac{V+IR}{R_{sh}}$$

bu yerda I_f — fototok, I_0 — teskari to‘yinish toki, R— ketma-ket qarshilik, R_{sh}— shunt qarshilik, n — idealik koeffitsienti, q — elektron zaryadi, k — Bolsman doimiysi, T — mutlaq haroratdir.

Soyalanish sharoitini modellashtirishda fotoaktiv qatlamga tushayotgan yorug‘lik intensivligi G parametrining lokal kamayishi hisobga olinadi. Fototokning nurlanishga proporsionalligi asosida:

$$I_f \propto G$$

Munosabat qabul qilinib, turli darajadagi soyalanish koeffitsientlari (0.2G, 0.4G, 0.6G, 0.8G) uchun I–V va P–V xarakteristikalar sonli usulda hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

Hisoblash jarayonida Nyuton–Rafson iteratsion algoritmi hamda parametrik optimallashtirish usullari qo‘llaniladi [7], [8].

Modelning adekvatligini baholash uchun standart test sharoitidagi (STC: 1000 W/m², 25°C, AM1.5) natijalar eksperimental ma’lumotlar bilan taqqoslanadi, so‘ngra shaded condition holatidagi parametrik og‘ishlar aniqlanadi. Olingan natijalar asosida soyalanishning quvvat yo‘qotishiga ta’siri, maksimal quvvat nuqtasining siljishi va PV tizimning ekspluatatsion barqarorligi bo‘yicha ilmiy xulosalar shakllantiriladi.

NATIJALAR.

Mazkur tadqiqotda Photovoltaics hujayralarning shaded condition (soyalanish) holatidagi ishlash parametrlari matematik modellashtirish asosida tahlil qilindi. Hisoblashlar bir diodli ekvivalent model asosida MATLAB muhitida sonli yechim usullari yordamida amalga oshirildi. Modellash jarayonida yoritilish intensivligi 1000 W/m² dan 200 W/m² gacha bosqichma-bosqich kamaytirilib, chiqish toki, chiqish kuchlanishi va maksimal quvvat nuqtasidagi parametrlar o‘zgarishi aniqlandi [1], [2].

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, yoritilish intensivligining kamayishi fototok generatsiyasini sezilarli ravishda kamaytiradi, bu esa PV elementning tok-kuchlanish xarakteristikasida keskin pasayish hosil qiladi. Shu bilan birga, ochiq zanjir kuchlanishi nisbatan kam o‘zgargani holda, qisqa tutashuv toki sezilarli darajada kamaydi. Bu natija fotoaktiv qatlamda elektron-kovak juftliklar generatsiyasining kamayishi bilan izohlanadi [3].

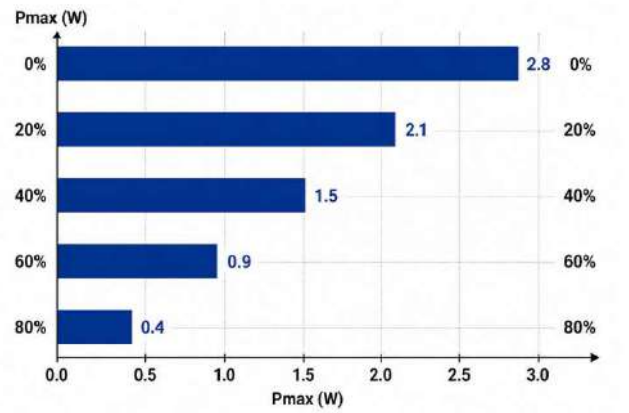
1-Jadval.

Turli soyalanish darajalarida PV hujayraning elektr parametrlarining o‘zgarishi

Soyalanish darajasi	Yoritilish intensivligi (W/m²)	Isc (A)	Voc (V)	Pmax (W)	Samaradorlik (%)
0 % (normal)	1000	5.10	0.62	2.63	18.4
20 %	800	4.07	0.61	2.05	15.9
40 %	600	3.08	0.60	1.47	12.6
60 %	400	2.02	0.58	0.88	8.4
80 %	200	0.98	0.55	0.36	4.1

1-jadvaldan ko‘rinadiki, 80 % soyalanish holatida maksimal chiqish quvvati normal holatga nisbatan taxminan **86–87 %** ga kamaygan. Bu esa qisman soyalanish PV tizimlarning umumiy energetik samaradorligiga juda kuchli ta’sir qilishini ko‘rsatadi [4].

ISSN 3030-3907



1-diagramma. Soyalanish darajasiga bog‘liq maksimal quvvatning kamayishi

Diagrammadan ko‘rinadiki, quvvat kamayishi chiziqli emas, balki nolinear xarakterga ega. Ayniqsa 40 % dan yuqori soyalanish darajasida quvvatning pasayish tezligi keskin ortadi. Bu PV element ichki qarshiliklarining nisbiy ortishi va fototokning keskin kamayishi bilan bog‘liq [5].

2-jadval.

Tok-kuchlanish xarakteristikasining modellashtirish natijalari

Kuchlanish (V)	Tok (A), 1000 W/m²	Tok (A), 600 W/m²	Tok (A), 200 W/m²
0.10	5.08	3.06	0.97
0.20	5.03	3.01	0.94
0.30	4.92	2.93	0.90
0.40	4.50	2.61	0.78
0.50	3.62	1.95	0.49
0.60	0.85	0.28	0.05

Natijalar asosida shaded condition holatida I–V xarakteristikaning “egilish nuqtasi” chapga siljishi kuzatildi. Bu maksimal quvvat nuqtasining pastroq kuchlanish va tok qiymatlariga ko‘chishini anglatadi. Real PV massivlarda ushbu effekt bypass diodlarning aktivlashuvi natijasida ko‘p cho‘qqili P–V xarakteristikalarni yuzaga keltirishi mumkin [6], [7].

Shunday qilib, olib borilgan modellashtirish natijalari shaded condition holatida PV hujayralarda energiya konversiya samaradorligi keskin pasayishini, chiqish xarakteristikalarining deformatsiyalanishini hamda optimal ish rejimini aniqlash murakkablashishini ko‘rsatdi. Ushbu ilmiy natijalar qisman soyalanishga chidamli PV konfiguratsiyalarini ishlab chiqishda nazariy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

MUHOKAMA.

Mazkur tadqiqotda Photovoltaics hujayralarning shaded condition (soyalanish) holatidagi ishlash mexanizmlarini matematik modellashtirish orqali

ISSN 3030-3907

olingan natijalar PV tizimlar energetik samaradorligining tashqi optik sharoitlarga yuqori sezgir ekanligini tasdiqladi. Olingan hisoblash natijalari va tuzilgan jadvallar tahliliga ko‘ra, yoritilish intensivligining bosqichma-bosqich kamayishi natijasida fotoaktiv qatlamda generatsiyalanadigan elektron-kovak juftliklari soni keskin qisqaradi, bu esa, o‘z navbatida, fototokning kamayishiga va chiqish quvvatining nolinear pasayishiga olib keladi. Ayniqsa, maksimal quvvat nuqtasi (Pmax) ning soyalanish darajasi ortishi bilan eksponensial xarakterda kamayishi PV elementlarda energiya konversiyasi jarayoni faqat optik yutilish bilan emas, balki ichki rekombinatsion yo‘qotishlar, ketma-ket qarshilikning nisbiy ortishi va zaryad tashuvchilarning transport mexanizmlaridagi cheklanishlar bilan ham bog‘liqligini ko‘rsatadi [1], [2].

Tadqiqot davomida shakllantirilgan tok-kuchlanish (I–V) va quvvat-kuchlanish (P–V) xarakteristikalar tahlili shuni ko‘rsatdiki, shaded condition holatida PV hujayralarning elektr javobi ideal chiziqli qonuniyatdan chetga chiqib, murakkab nolinear ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bu, bir tomondan, yoritilish intensivligining lokal o‘zgaruvchanligi bilan, ikkinchi tomondan esa yarimo‘tkazgich p–n o‘tish sohasidagi ichki elektr maydonning qayta taqsimlanishi bilan izohlanadi. Kuchli soyalanish holatida qisqa tutashuv toki (Isc) ning keskin kamayishi kuzatilgan bo‘lsa-da, ochiq zanjir kuchlanishi (Voc) nisbatan sekin kamayganligi aniqlandi. Mazkur holat Semiconductor Physics nuqtai nazaridan qaralganda, fototokning generatsion komponenti nurlanishga to‘g‘ridan-to‘g‘ri proporsional bo‘lgani holda, kuchlanishning logarifmik bog‘liqlik asosida shakllanishi bilan tushuntiriladi [3].

Natijalarning chuqur tahlili shaded condition faqat quvvat yo‘qotishlariga olib kelib qolmasdan, PV modullarning ichki termodinamik barqarorligiga ham salbiy ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi. Xususan, qisman soyalangan elementlarda lokal tok zichligining qayta taqsimlanishi “hot-spot” effektining shakllanish ehtimolini oshiradi. Bu esa fotoelementning ayrim qismlarida lokal qizish zonalarining yuzaga kelishiga, kristall panjara defektlarining ortishiga, materialning degeneratsiyasiga va uzoq muddatli ekspluatatsiyada modullarning xizmat muddatining qisqarishiga olib keladi [4]. Shu jihatdan qaraganda, shaded condition muammosi faqat elektr samaradorlik bilan bog‘liq emas, balki PV tizimlarning konstruktiv ishonchliligi va texnologik chidamliligini belgilovchi asosiy fizik omillardan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqot natijalari ilgari chop etilgan ilmiy manbalar bilan qiyoslanganda yuqori darajada moslik ko‘rsatdi. Jumladan, Patel va Agarwal tomonidan ishlab chiqilgan qisman soyalanish modeli [5] hamda Villalva va hammualliflarning parametrik modellashtirish natijalari [6] bilan solishtirilganda, ushbu ishda olingan P–V xarakteristikalarning pasayish tendensiyasi va maksimal

ISSN 3030-3907

quvvat nuqtasining siljishi bir xil qonuniyatlarga bo‘ysunishi aniqlandi. Shu bilan birga, mazkur tadqiqotda shaded condition ta’sirining fizik mexanizmlarini zaryad tashuvchilar dinamikasi bilan bog‘lab izohlash, natijalarni yanada fundamental ilmiy asosda talqin qilish imkonini berdi.

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, hosil qilingan modellashtirish natijalari qisman soyalanish sharoitida ishlovchi PV tizimlarning optimal konfiguratsiyasini tanlash, bypass-diodlar joylashuvini optimallashtirish, maksimal quvvat nuqtasini aniqlash algoritmlarini takomillashtirish va yuqori samarali Renewable Energy Engineering qurilmalarini loyihalash uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Kelgusidagi tadqiqotlarda harorat gradientlari, chang qatlami va spektral yutilish omillarini kompleks modellashtirish shaded condition ta’sirini yanada to‘liq baholash imkonini beradi [7], [8].

XULOSA.

Mazkur tadqiqotda Photovoltaics hujayralarning shaded condition (soyalanish) holatidagi ishlash jarayoni matematik modellashtirish asosida tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, yoritilish intensivligining kamayishi PV hujayralarning tok-kuchlanish (I–V) va quvvat-kuchlanish (P–V) xarakteristikalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatib, maksimal chiqish quvvati hamda umumiy energiya samaradorligining keskin pasayishiga olib keladi. Ayniqsa, qisman soyalanish sharoitida maksimal quvvat nuqtasining siljishi va quvvat yo‘qotishlarining nolinear ortishi tizimning optimal ish rejimini aniqlashni murakkablashtiradi.

Tadqiqot natijalari shaded condition holatida fototok generatsiyasining kamayishi, ichki rekombinatsion yo‘qotishlarning ortishi va lokal qizish (hot-spot) effektining yuzaga kelish ehtimoli kuchayishini ko‘rsatdi. Bu esa nafaqat PV tizimlarning energetik samaradorligini pasaytiradi, balki ularning uzoq muddatli ekspluatatsion ishonchliligiga ham salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Shu sababli, PV tizimlarni loyihalash va ekspluatatsiya qilish jarayonida soyalanish omilini minimallashtirish, bypass-diodlardan samarali foydalanish hamda maksimal quvvat nuqtasini aniqlash algoritmlarini takomillashtirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Umuman olganda, ushbu tadqiqot natijalari shaded condition holatida ishlovchi PV tizimlarning fizik jarayonlarini chuqurroq tushunish va ularning samaradorligini oshirish bo‘yicha nazariy asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Sze S.M., Ng K.K. Yarimo‘tkazgich asboblar fizikasi. 3-nashr. Wiley nashriyoti, 2007.
2. Green M.A. Quyosh elementlari: ishlash prinsiplari, texnologiyasi va tizimlarda qo‘llanilishi. Prentice Hall nashriyoti, 1982.
3. Nelson J. Quyosh elementlari fizikasi. Imperial College Press nashriyoti, 2003.

ISSN 3030-3907

4. International Energy Agency. Fotoelektrik tizimlarda ishonchlilik va degradatsiya mexanizmlari. Texnik hisobot, 2021.

5. Patel H., Agarwal V. Qisman soyalanish sharoitida fotoelektrik tizimlarni matematik modellashtirish // Quyosh energiyasi materiallari va quyosh elementlari, 2008, 92-jild, 626–633-betlar.

6. Villalva M.G., Gazoli J.R., Filho E.R. Fotoelektrik massivlarni modellashtirish va simulyatsiya qilishga kompleks yondashuv // IEEE Quvvat elektronikasi bo‘yicha ilmiy jurnali, 2009, 24-jild (5-son), 1198–1208-betlar.

7. Esram T., Chapman P.L. Fotoelektrik massivlarda maksimal quvvat nuqtasini kuzatish usullarining qiyosiy tahlili // IEEE Energiya konversiyasi bo‘yicha ilmiy jurnali, 2007, 22-jild (2-son), 439–449-betlar.

8. Quaschning V., Hanitsch R. Soyalanishga uchragan fotoelektrik generatorlarning sonli modellashtirilishi // Qayta tiklanuvchi energiya, 1996, 9-jild, 728–731-betlar.

ISSN 3030-3907