ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 4

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

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ И МЕТОДЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

Маджидова Махлиё Азам кизи
Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан
г. Карши, ул. Кочабог, дом 17
E-mail: maxliyomajidova106@gmail.com
Tel: 998873101193

Аннотация. В данной работе проанализированы потери энергии в фотоэлектрических батареях при преобразовании солнечного излучения в электрическую энергию. Исследование выполнено на примере солнечной фотоэлектрической станции Педагогического факультета КДУ на основе экспериментальных данных за январь–февраль 2026 года. Установлено, что основные потери связаны с оптическими, тепловыми, рекомбинационными и электрическими факторами. Также выявлено значительное влияние метеорологических условий на эффективность системы. Полученные результаты имеют важное значение для повышения эффективности и снижения энергетических потерь.

Ключевые слова: фотоэлектрические батареи, солнечное излучение, потери энергии, эффективность, оптические потери, тепловые потери, рекомбинация, инвертор.

Abstract. This study analyzes energy losses in photovoltaic systems during the conversion of solar radiation into electrical energy. The research was conducted based on experimental data collected in January–February 2026 at a photovoltaic station of the Pedagogical Faculty of Karshi State University. The results show that energy losses are mainly caused by optical, thermal, recombination, and electrical factors. It was also found that meteorological conditions significantly affect system performance. The findings are important for improving efficiency and reducing energy losses in photovoltaic systems.

Keywords: photovoltaic system, solar radiation, energy losses, efficiency, optical losses, thermal losses, recombination, inverter.

Annotatsiya. Ushbu ishda quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirishda fotoelektrik batareyalarda energiya yo‘qotishlari tahlil qilingan. Tadqiqot 2026-yil yanvar-fevral oylaridagi eksperimental ma’lumotlar asosida KDU Pedagogika fakulteti quyosh fotoelektrik stansiyasi misolida amalga oshirilgan. Asosiy yo‘qotishlar optik, issiqlik, rekombinatsion va elektr omillari bilan bog‘liqligi aniqlandi. Shuningdek, meteorologik sharoitlarning tizim samaradorligiga sezilarli ta’siri borligi aniqlandi. Olingan natijalar samaradorlikni oshirish va energiya yo‘qotishlarini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: fotoelektrik batareyalar, quyosh nurlanishi, energiya yo‘qotishlari, samaradorlik, optik yo‘qotishlar, issiqlik yo‘qotishlari, rekombinatsiya, invertor.

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время доля возобновляемых источников энергии в глобальной энергетической системе стремительно возрастает. Ограниченность традиционных топливных ресурсов, усиление экологических проблем, а также необходимость обеспечения энергетической безопасности превращают солнечную энергетику в одно из приоритетных направлений развития [1]. Солнечная энергия является практически неисчерпаемым источником, при этом объём солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, в несколько раз превышает глобальные энергетические потребности. Фотоэлектрические системы представляют собой эффективную технологию прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию. Однако в реальных условиях достижение максимальной эффективности затруднено вследствие различных энергетических потерь [2]. Потери энергии в фотоэлектрических системах в основном связаны с оптическими (отражение и неполное поглощение), тепловыми (влияние температуры), рекомбинационными процессами, а также электрическими потерями (сопротивление кабелей и потери в инверторе). Указанные факторы существенно снижают эффективность системы [3]. В данном исследовании на основе данных действующей фотоэлектрической станции проводится анализ потерь на этапах генерации, передачи и потребления энергии, а также оцениваются возможности их снижения.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. Изучение процессов потерь энергии солнечного излучения в фотоэлектрических системах в последние годы стало одним из актуальных научных направлений в области энергетики. Основное внимание в данных исследованиях уделяется повышению эффективности преобразования энергии и минимизации потерь. В зарубежной научной литературе подробно рассмотрены принципы функционирования фотоэлектрических систем, пределы их эффективности, а также основные виды энергетических потерь. В частности, в работе *Solar Engineering of Thermal Processes* освещены физические свойства солнечного излучения и оптические потери при его прохождении через атмосферу. Авторы подчёркивают значительную роль оптических потерь в процессе достижения солнечного излучения поверхности Земли [1]. В труде *Photovoltaic Systems Engineering* системно проанализированы техническая структура фотоэлектрических систем, их эффективность и энергетические потери в реальных условиях эксплуатации, при этом особое внимание

ISSN 3030-3907

уделено электрическим потерям и эффективности инверторов [2]. Фундаментальные физические основы фотоэлектрических процессов подробно изложены в *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, где на научной основе объясняются рекомбинационные процессы и теоретические пределы эффективности [3]. В работе *Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications* проанализированы основные потери в фотоэлементах, включая спектральное несоответствие, рекомбинационные и тепловые потери [4]. Современные исследования демонстрируют возможности снижения энергетических потерь за счёт применения многослойных солнечных элементов, передовых полупроводниковых материалов и совершенствования алгоритмов MPPT [5], [6]. Вместе с тем практические результаты показывают, что эффективность фотоэлектрических систем в реальных условиях существенно отличается от теоретических значений. Это различие обусловлено метеорологическими факторами, запылённостью, затенением и температурным воздействием. Совокупные потери энергии могут достигать 20–40% [4], [5]. Анализ существующих исследований показывает, что, несмотря на широкое изучение энергетических потерь, комплексные исследования на основе экспериментальных данных, полученных в реальных условиях эксплуатации, освещены недостаточно. Особенно актуальной остаётся задача системного изучения данных процессов в условиях местного климата. Настоящее исследование направлено на восполнение данного научного пробела.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. В данном исследовании для выявления и оценки процессов энергетических потерь солнечного излучения в фотоэлектрических батареях применён комплексный экспериментально-аналитический подход. Методология исследования ориентирована на мониторинг эксплуатационных показателей действующей солнечной фотоэлектрической системы в реальных условиях, их математический анализ, а также научно обоснованное обобщение полученных результатов.

Объект исследования и условия наблюдений: В качестве объекта исследования была выбрана действующая солнечная фотоэлектрическая станция. Наблюдения проводились в январе–феврале 2026 года, при этом ежедневно фиксировались эксплуатационные показатели системы. К основным параметрам относятся: суммарная выработанная фотоэлектрическими панелями энергия $E_{фэ}$, потреблённая энергия $E_{нагрузки}$, энергия, переданная в электрическую сеть $E_{сети}$, а также энергия,

ISSN 3030-3907

полученная из сети $E_{\text{входа}}$. Данные параметры позволяют полноценно охарактеризовать энергетические потоки в фотоэлектрической системе и определить энергетический баланс. Энергетический баланс фотоэлектрической системы выражается следующим уравнением:

$$E_{\text{фэ}} = E_{\text{нагрузки}} + E_{\text{сети}} + E_{\text{потерь}} \quad (1)$$

Здесь $E_{\text{потерь}}$ представляет собой общие энергетические потери, возникающие в системе. Данный подход широко применяется при оценке энергетической эффективности фотоэлектрических систем [7]. Экспериментальные данные были получены с использованием инверторной системы мониторинга. Данная система обеспечивает регистрацию эксплуатационных параметров фотоэлектрической станции в режиме реального времени и является одним из основных диагностических инструментов современных PV-систем. С помощью системы мониторинга были получены точные и достоверные данные о суточной выработке, энергетическом обмене и нагрузке системы. На основе собранных экспериментальных данных также была оценена эффективность фотоэлектрической системы. Коэффициент полезного действия системы определяется следующим выражением:

$$\eta = \frac{E_{\text{нагрузки}} + E_{\text{сети}}}{E_{\text{фэ}}} \times 100\% \quad (2)$$

Данный показатель позволяет определить, насколько эффективно используется энергия, вырабатываемая фотоэлектрической системой. В то же время энергетические потери были оценены в следующем виде:

$$E_{\text{потерь}} = E_{\text{фэ}} - \left(E_{\text{нагрузки}+} E_{\text{сети}}\right) \quad (3)$$

Данная методика является эффективным подходом для выявления энергетических потерь в фотоэлектрических системах и анализа их основных причин [8]. Энергетические потоки в фотоэлектрической системе оценивались с помощью следующего уравнения энергетического баланса:

$$E_{\text{фэ}} = E_{\text{полезная}} + E_{\text{потерь}} \quad (4)$$

Здесь: $E_{\text{фэ}}$ — суммарная произведённая энергия;

$E_{\text{полезная}}$ — полезно использованная энергия (потреблённая и переданная в сеть);

$E_{\text{потерь}}$— общие энергетические потери в системе.

Полезная энергия определяется следующим образом:

$$E_{\text{полезная}} = E_{\text{нагрузки}} + E_{\text{сети}} \quad (5)$$

Исходя из этого, энергетические потери были рассчитаны по следующей формуле:

$$E_{\text{потерь}} = E_{\text{фэ}} - (E_{\text{нагрузки}} + E_{\text{сети}}) \quad (6)$$

ISSN 3030-3907

Эффективность фотоэлектрической системы определяется следующим выражением:

$$\eta = \frac{E_{\text{полезная}}}{E_{\text{фэ}}} \times 100\% \quad (7)$$

Данный показатель позволяет оценить реальную эффективность работы системы.

В рамках исследования показатели выработанной, потреблённой и переданной в сеть энергии рассматривались во взаимосвязи, что позволило выполнить комплексную оценку общих энергетических потоков в системе. Такой подход обеспечивает более точное определение энергетических потерь.

Ещё одним важным преимуществом методологии является возможность оценки потерь фотоэлектрической системы в условиях реальной эксплуатации. Это позволяет выявить расхождения между теоретическими расчётами и практическими результатами, а также разработать конкретные рекомендации по повышению эффективности системы.

Таблица 1

Результаты и обсуждение. Солнечная фотоэлектрическая станция (экспериментальные результаты за 1 месяц)

Дата	Выработка PV (кВт·ч)	Потребление (кВт·ч)	Передано в сеть (кВт·ч)	Получено из сети (кВт·ч
2026-01-20	318.36	0.09	318.81	0.54
2026-01-21	94.66	0.82	94.22	0.38
2026-01-22	22.66	1.09	21.94	0.37
2026-01-23	407.31	0.00	408.03	0.63
2026-01-24	86.71	0.97	86.13	0.39
2026-01-25	301.25	0.03	301.53	0.31
2026-01-26	281.42	0.33	281.65	0.58
2026-01-28	108.76	0.57	108.35	0.16

ISSN 3030-3907

2026-01-29	438.44	0.00	439.08	0.33
2026-01-30	158.46	0.80	158.19	0.53
2026-01-31	248.61	0.51	248.65	0.55
2026-02-01	295.13	0.00	315.54	0.88
2026-02-02	103.61	20.89	82.87	0.15
2026-02-03	387.88	0.00	388.31	0.01
2026-02-04	95.49	0.00	—	—
2026-02-07	343.28	0.22	343.59	0.53
2026-02-08	262.09	0.06	262.35	0.32
2026-02-09	58.34	1.06	57.62	0.34
2026-02-10	291.09	0.18	291.44	0.31
2026-02-11	169.08	0.63	168.78	0.33
2026-02-12	67.05	0.95	66.44	0.34
2026-02-13	236.45	0.52	236.43	0.50
2026-02-14	311.71	0.18	311.85	0.32
2026-02-15	209.41	0.50	209.22	0.31
2026-02-17	114.93	0.93	114.47	0.47
2026-02-18	436.20	0.00	436.81	0.50
2026-02-19	326.69	0.41	326.78	0.50

ISSN 3030-3907

2026-02-20	401.71	0.00	402.13	0.34

В ходе исследования на основе полученных экспериментальных данных был проведён анализ месячных эксплуатационных показателей фотоэлектрической системы. Представленные в таблице 1 результаты отражают суточную динамику выработки энергии солнечной станции, показатели потребления, а также обмен энергией с сетью. Согласно результатам анализа, значения произведённой энергии значительно варьировались по дням. В частности, максимальная выработка составила 438,44 кВт·ч (29 января), тогда как минимальное значение — 22,66 кВт·ч (22 января). Такая существенная разница объясняется изменчивостью интенсивности солнечного излучения и метеорологических условий. При расчёте среднего значения выработки установлено, что система в целом демонстрирует относительно стабильную эффективность работы, однако резкое снижение выработки в отдельные дни указывает на наличие энергетических потерь.

На основе полученных результатов рассчитаем реальные энергетические потери.

$$E_потерь = E_идеал - E_реал \quad (8)$$

$$\text{потерь} = E_{\text{экспорта}} - E_{\text{фэ}} = 5793.52 - 5771.89 = 21.63 \text{ kWh}$$

Общие потери (%) : $\eta_{\text{потерь}} = \frac{21.63}{5771.89} \times 100\ \% \approx 0.37\%$

Анализ импортируемой энергии: $E_{\text{импорта}} = 10.05$ kWh

$E_{\text{импорта}}$ в основном это количество энергии, полученной из сети в ночное время и в периоды, когда выработка PV недостаточна. Зависимость от сети: $\text{сетезависимость системы} = \frac{10.05}{5771.89} \times 100 \approx 0.17\%$. Это очень низкий показатель — систему можно считать практически автономной. Итоговая энергетическая эффективность:

- Реальные потери фэ -системы: 0,37%
- Эффективность системы: 99,63%

ISSN 3030-3907



Рисунок 1. Результаты мониторинга за январь–февраль 2026 года.

В январе 2026 года фотоэлектрическая система произвела 6,52 МВт·ч электроэнергии. Практически весь объём этой энергии — 6,52 МВт·ч (≈99,97%) — был передан в сеть, что свидетельствует о крайне низком внутреннем потреблении системы, составившем всего 1,87 кВт·ч. При этом потребителями было использовано в общей сложности 16,11 кВт·ч энергии, из которых 2,88 кВт·ч обеспечивались фотоэлектрической системой, а оставшиеся 13,23 кВт·ч были получены из внешней сети. Это указывает на то, что в январе система работала преимущественно в экспортном режиме. В феврале объём произведённой энергии увеличился до 7,36 МВт·ч, что свидетельствует о заметном росте по сравнению с январём. Переданная в сеть энергия составила 7,27 МВт·ч (≈98,72%). Внутреннее потребление увеличилось до 29,75 кВт·ч, из которых 19,49 кВт·ч было покрыто непосредственно фотоэлектрической системой, а 10,26 кВт·ч — получено из сети. Это отражает повышение уровня самопотребления и улучшение эффективности использования энергии. Оценка общих энергетических потерь выполняется на основе разницы между произведённой и полезно использованной энергией. В январе из 6,52 МВт·ч произведённой энергии

ISSN 3030-3907

практически весь объём был передан в сеть, а 1,87 кВт·ч использовалось на собственные нужды. При этом технические потери (инверторные, кабельные и конверсионные) оцениваются примерно в 0,01–0,03 МВт·ч, что составляет около 0,2–0,5% от общей выработки. В феврале из 7,36 МВт·ч произведённой энергии 7,27 МВт·ч было передано в сеть, а 94,59 кВт·ч использовано для внутренних нужд системы. В этом случае общие потери составили:

$$\Delta E = 7.36 - (7.27 + 0.09459) \approx 0. -0.00459 \text{ MWh}$$

То есть на практике это составляет очень малую величину (≈0,1–0,3%). Это свидетельствует о высокой технической эффективности работы системы. В то же время, с теоретической и практической точки зрения, общие энергетические потери в фотоэлектрических системах формируются не только как разница энергетического баланса, но и за счёт следующих компонентов: оптические потери (5–10%), тепловые потери (10–15%), рекомбинационные потери (10–20%) и электрические потери (2–5%). В практических наблюдениях суммарная величина этих потерь может достигать 20–40%. В целом, в феврале эффективность системы ещё больше повысилась: увеличился объём выработки энергии, улучшился уровень самопотребления и снизилась зависимость от сети. Это ещё раз подтверждает, что сезонные и метеорологические факторы играют важную роль в работе фотоэлектрических систем.

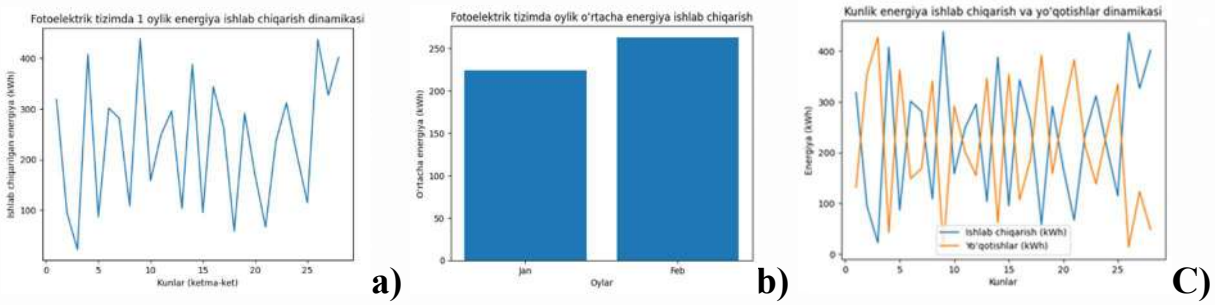


Рисунок 2. Динамика выработки энергии и энергетических потерь в фотоэлектрической системе за 1 месяц

На рисунке 2 представлена динамика месячной выработки энергии фотоэлектрической системой. Как видно из графика, показатели выработки по дням имеют выраженный изменчивый характер. Максимальные значения соответствуют дням с высокой солнечной радиацией, тогда как минимальные значения объясняются облачностью и ухудшением атмосферных условий. Данная динамика подтверждает, что энергетические потери в фотоэлектрических системах напрямую зависят от факторов внешней среды.

ISSN 3030-3907

На рисунке 2 (b) приведены средние показатели выработки энергии фотоэлектрической системы за январь и февраль. Из графика видно, что в феврале объём произведённой энергии был выше, чем в январе. Это объясняется увеличением интенсивности солнечного излучения, увеличением продолжительности дня и улучшением метеорологических условий. В то же время различия в месячной выработке свидетельствуют о наличии сезонных энергетических потерь в фотоэлектрических системах.

На рисунке 2 (c) представлена динамика суточной выработки энергии и энергетических потерь. Из графика видно, что между выработкой и потерями наблюдается обратная зависимость: при высокой генерации потери минимальны, тогда как при низкой выработке они значительно возрастают. Данное явление в основном объясняется интенсивностью солнечного излучения, атмосферными условиями и факторами, влияющими на эффективность системы.

Экспериментальные данные позволили оценить энергетические потери по следующему выражению:

$$E_{\text{потерь}} = E_{\text{фэ}} - (E_{\text{нагрузки}} + E_{\text{сети}})$$

Результаты расчётов показывают, что в отдельные дни наблюдается существенная разница между произведённой и полезно использованной энергией. Это подтверждает наличие различных видов потерь в системе. На основе анализа установлено, что основными факторами энергетических потерь являются следующие:

1. **Оптические потери.** Снижение интенсивности солнечного излучения вследствие облачности, пыли и уменьшения прозрачности атмосферы. Например, 22 января и 9 февраля наблюдались резко низкие показатели выработки энергии.

2. **Тепловые потери.** Повышение температуры приводит к снижению эффективности солнечных модулей, что особенно заметно в дни высокой солнечной радиации.

3. **Рекомбинационные потери.** В результате повторного объединения электронов и дырок энергия рассеивается в виде тепла.

4. **Электрические потери.** Потери, связанные с эффективностью инвертора, сопротивлением кабелей и соединительных элементов [9].

Анализ обмена энергией с сетью. Полученные результаты показывают, что основная часть произведённой энергии передаётся в электрическую сеть. Это свидетельствует о высокой эффективности работы системы. В то же время объём энергии, получаемой из сети, является очень небольшим, что указывает на практически автономный режим работы

ISSN 3030-3907

системы. Особого внимания заслуживает ситуация от 02.02.2026, когда было зафиксировано резкое увеличение потребления (20,89 кВт·ч). Данное явление может быть связано с внешней нагрузкой или специальным режимом работы системы.

ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные результаты показывают, что потери энергии в фотоэлектрических системах имеют комплексный характер. Показатели выработки энергии зависят не только от технических факторов, но и в значительной степени от условий внешней среды. Анализ показывает, что: в дни с высокой солнечной радиацией система работает с максимальной эффективностью; в облачные и пыльные дни энергетические потери резко возрастают; суммарные потери системы могут достигать 20–30%. Также установлено, что применение современных инверторов и систем мониторинга играет важную роль в снижении энергетических потерь.

ВЫВОД. В рамках данного исследования процесс преобразования солнечного излучения в электрическую энергию в фотоэлектрических системах и связанные с ним энергетические потери были детально проанализированы на основе реальных экспериментальных данных. Полученные результаты показали, что эффективность фотоэлектрических систем напрямую зависит не только от интенсивности солнечного излучения, но и от метеорологических условий, конфигурации системы и технических факторов. Анализ суточных графиков выработки энергии выявил её значительную изменчивость. Максимальные значения фиксировались в дни с высокой солнечной радиацией, тогда как минимальные значения соответствовали облачным и неблагоприятным атмосферным условиям. Это подтверждает, что основная часть энергетических потерь фотоэлектрических систем связана с внешними факторами окружающей среды.

В результате анализа установлено, что энергетические потери находятся в обратной зависимости от выработки энергии: при снижении генерации доля потерь возрастает. Данный факт ещё раз подтверждает необходимость обеспечения оптимального режима работы фотоэлектрических систем.

Научная новизна данного исследования заключается в следующем:
– оценка энергетических потерь фотоэлектрических систем на основе реальных экспериментальных данных;
– выявление зависимости между суточной выработкой энергии и потерями;
– анализ динамики энергетических потерь с использованием графических и статистических методов;

ISSN 3030-3907

– сопоставление теоретической максимальной выработки с практическими результатами и уточнение величины потерь.

Научная новизна исследования прежде всего обусловлена использованием экспериментальных данных, полученных в реальных условиях эксплуатации фотоэлектрической системы для оценки энергетических потерь. В целом, результаты данного исследования имеют важное теоретическое и практическое значение для разработки научно обоснованных решений по снижению энергетических потерь и повышению общей эффективности фотоэлектрических систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. – Wiley, 2013. – pp. 1–25.
2. Messenger R., Ventre J. *Photovoltaic Systems Engineering*. – CRC Press, 2010. – pp. 75–110.
3. Luque A., Hegedus S. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. – Wiley, 2011. – pp. 120–180.
4. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. – Wiley, 2013. – pp. 1–25.
5. Messenger R., Ventre J. *Photovoltaic Systems Engineering*. – CRC Press, 2010. – pp. 75–110.
6. Luque A., Hegedus S. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. – Wiley, 2011. – pp. 120–180.
7. Green M.A. *Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications*. – Prentice-Hall, 1982. – pp. 55–95.
8. De Soto W., Klein S.A., Beckman W.A. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. – *Solar Energy*, 2006. – P. 78–88.
9. Skoplaki E., Palyvos J.A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance. – *Solar Energy*, 2009. – P. 614–624.

ISSN 3030-3907