



UO'K 621.311.243

doi.10.70769/2181-284.ME.2(23).2026.4

PV STRINGLARNI MPPT INVERTOR PARAMETRLARI BILAN MOSLASHTIRISH ORQALI QUYOSH FOTOELEKTR STANSIYALARINING ENERGETIK SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Kulmatov Xayrullo Xabibullaevich – PhD

<https://orcid.org/0009-0008-5504-4875> e-mail: hayrullo05051986@gmail.com

Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona shahar, Farg'ona ko'chasi, 86-uy,
150107, O'zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Maqolada PV string parametrlarini MPPT inverter ishchi zonasi bilan moslashtirishning quyosh fotoelektr stansiyalari energetik samaradorligiga ta'siri tadqiq etilgan. ASN-10SL Auxsol inverteri asosidagi 10 kW stansiya va HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 inverteri asosidagi 30kW stansiya misolida MPPT mosligi va mismatch holatlari tahlil qilingan. Natijalar PV stringlarning real ishchi kuchlanishini inverter parametrlari bilan to'g'ri moslashtirish generatsiyani oshirishini ko'rsatdi.

Usul va materiallar. Tadqiqot obyekti sifatida MPPT inverterlar bilan ishlovchi tarmoqqa ulangan quyosh fotoelektr stansiyalari tanlandi. Asosiy hisobiy misol 10kW stansiya uchun, qiyosiy tahlil esa 30 kW stansiya uchun bajarildi. Metodika inverter va PV modullar pasport ma'lumotlarini tahlil qilish, string kuchlanishini hisoblash, MPPT diapazoni bilan mosligini tekshirish, sutkalik generatsiya grafiklarini o'rganish va potensial energiya yo'qotishlarini baholashdan iborat bo'ldi.

Natijalar 10kW stansiyada 10 ta paneldan iborat string uchun 364-392V ishchi kuchlanish diapazoni inverting 380V nominal kirish kuchlanishiga mos kelib, MPPT nazoratining barqaror ishlashini va kunlik 70-82 kWh generatsiyani ta'minladi. 30 kW stansiyada esa MPPT mismatch alomatlari aniqlanib, tadqiq etilgan davr uchun 354.6kWh, ya'ni 23.68 % gacha generatsiya yo'qotilishi baholandi. Bu holat 245 kunlik ekspluatatsiyaga ekstrapolyatsiya qilinganda taxminan 8.69MWh yillik yo'qotishga teng bo'lishi mumkin.

Xulosa. Quyosh fotoelektr stansiyalarining energetik samaradorligi nafaqat modullar quvvati va inverter FIKiga, balki PV stringlarning haqiqiy ishchi kuchlanishini MPPT inverter parametrlari bilan to'g'ri moslashtirishga ham bog'liq. MPPT Voltage Range, Rated PV Input Voltage, harorat ta'siri va real ekspluatatsion parametrlarga e'tibor berish generatsiya yo'qotishlarini kamaytiradi va stansiyaning yillik iqtisodiy samaradorligini oshiradi.

Kalit so'zlar: quyosh fotoelektr stansiyasi; MPPT inverter; PV string; maksimal quvvat nuqtasi; MPPT mismatch; string konfiguratsiyasi; energetik samaradorlik; elektr energiyasi generatsiyasi; fotoelektr modul.

Дата поступления: 15.05.2026. После обработки: 16.05.2026 Принято печать: 22.06.2026

For citation: Kulmatov Kh.Kh. Improving the Energy Efficiency of Solar Photovoltaic Power Plants by Matching PV Strings with MPPT Inverter Parameters. Alternative energy. 2026. 2(23). pp. 47-56.

УДК 621.311.243

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПУТЕМ СОГЛАСОВАНИЯ PV-СТРИНГОВ С ПАРАМЕТРАМИ МРРТ- ИНВЕРТОРА

Кулматов Хайрулло Хабибуллаевич- PhD



<https://orcid.org/0009-0008-5504-4875> e-mail: hayrullo05051986@gmail.com

Ферганский государственный технический университет, г. Фергана, ул. Фергана, дом 86,
150107, Узбекистан

Аннотация. Введение. В статье исследовано влияние согласования параметров PV-стрингов с рабочей зоной MPPT-инвертора на энергетическую эффективность солнечных фотоэлектрических станций. На примере 10кВт станции с инвертором ASN-10SL Auxsol и 30кВт станции с инвертором HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 проанализированы режимы эффективной работы MPPT и признаки mismatch. Показано, что правильное согласование рабочих параметров стрингов с параметрами инвертора позволяет повысить фактическую генерацию станции.

Методы и материалы. Объектом исследования являются сетевые солнечные фотоэлектрические станции, работающие на базе MPPT-инверторов. Методика включает анализ технических параметров инверторов и PV-модулей, расчёт рабочего напряжения стрингов, проверку соответствия MPPT-диапазону, исследование суточных графиков генерации и оценку потенциальной недовыработки электроэнергии. В качестве эмпирической базы использованы данные мониторинга систем AuxsolCloud и mini DataWarehouse.

Результаты. Для 10кВт станции установлено, что рабочий диапазон напряжения стринга 364-392 В соответствует номинальному входному напряжению инвертора 380 В и обеспечивает устойчивое удержание точки максимальной мощности, а также суточную генерацию 70-82 кВт·ч. Для 30кВт станции выявлены признаки MPPT mismatch, при которых потенциальные потери генерации за исследованный период составили 354.6 кВт·ч, или 23.68 %, а при годовой экстраполяции - около 8.69МВт·ч.

Заключение. Энергетическая эффективность солнечных фотоэлектрических станций определяется не только установленной мощностью PV-модулей и паспортным КПД инвертора, но и степенью согласования реального рабочего напряжения PV-стрингов с параметрами MPPT-инвертора. Учет MPPT Voltage Range, Rated PV Input Voltage, температурных характеристик модулей и реальных эксплуатационных параметров позволяет снизить генерационные потери и повысить экономическую эффективность эксплуатации ФЭС.

Ключевые слова: солнечная фотоэлектрическая станция; MPPT-инвертор; PV-стринг; точка максимальной мощности; string-конфигурация; MPPT mismatch; энергетическая эффективность; генерация электроэнергии; фотоэлектрический модуль.

UDC 621.311.243

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS BY MATCHING PV STRINGS WITH MPPT INVERTER PARAMETERS

Kulmatov Khayrullo Khabibullaevich- PhD

<https://orcid.org/0009-0008-5504-4875> e-mail: hayrullo05051986@gmail.com,

Fergana State Technical University, 86 Fergana Street, Fergana, 150107, Uzbekistan.

Abstract. Introduction. The paper investigates how matching PV string parameters with the operating zone of an MPPT inverter affects the energy efficiency of solar photovoltaic power plants. A 10kW plant based on an ASN-10SL Auxsol inverter and a 30kW plant based on a HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 inverter were analyzed to compare effective MPPT operation and mismatch effects. The results show that proper matching of the real PV string operating parameters with inverter characteristics can significantly improve actual electricity generation.



Methods and materials. The study focuses on grid-connected solar photovoltaic power plants operating with MPPT inverters. The methodology includes analysis of inverter and PV module datasheet parameters, calculation of string operating voltage, verification of compliance with the MPPT operating range, analysis of daily generation curves, and estimation of potential generation losses. Monitoring data from AuxsolCloud and mini DataWarehouse were used as the empirical basis.

Results. For the 10kW plant, the PV string operating voltage range of 364-392V was found to match the inverter rated input voltage of 380 V, enabling stable maximum power point tracking and daily generation of 70-82 kWh. For the 30kW plant, signs of MPPT mismatch were identified, with potential generation losses of 354.6 kWh, or 23.68%, over the analyzed period; when extrapolated to 245 operating days, this may reach about 8.69 MWh annually.

Conclusion. The energy efficiency of solar photovoltaic power plants depends not only on the installed PV capacity and inverter efficiency, but also on how accurately the real operating voltage of PV strings is matched to the MPPT inverter parameters. Considering the MPPT voltage range, rated PV input voltage, temperature characteristics of modules, and real operating conditions can reduce generation losses and improve the economic performance of PV plants.

Keywords: solar photovoltaic power plant; MPPT inverter; PV string; maximum power point; MPPT mismatch; string configuration; energy efficiency; electricity generation; photovoltaic module.

Введение

Развитие возобновляемых источников энергии является одним из ключевых направлений современной энергетики, поскольку рост потребления электрической энергии, ограниченность традиционных ресурсов и необходимость снижения экологической нагрузки требуют расширения применения солнечных фотоэлектрических станций [1]. Фотоэлектрические станции позволяют преобразовывать солнечную энергию непосредственно в электрическую и могут эффективно применяться как в автономных, так и в сетевых энергетических системах.

Эффективность фотоэлектрических станций зависит от интенсивности солнечного излучения, температуры окружающей среды, угла наклона модулей, качества фотоэлектрических панелей, потерь в кабельных линиях и параметров системы преобразования энергии. В большинстве проектных расчетов основное внимание уделяется выбору установленной мощности, количеству панелей, оптимальному углу наклона и прогнозируемой генерации [2]. Эти параметры хорошо моделируются в специализированных программных комплексах, однако фактическая выработка станции в значительной степени определяется также режимом работы MPPT-инвертора.

Научная проблема заключается в том, что при проектировании фотоэлектрических станций MPPT-контроллер часто рассматривается как стандартный встроенный элемент инвертора, тогда как фактическое положение рабочей точки PV-стрингов относительно эффективной зоны MPPT может приводить к существенной недовыработке энергии. Особенно значимой эта проблема становится при высоких температурах, запыленности, нестабильной солнечной радиации и сетевых помехах, характерных для эксплуатации солнечных станций в условиях Узбекистана.

Цель исследования - оценить влияние согласования рабочих параметров PV-стрингов с диапазоном и номинальным входным напряжением MPPT-инвертора на фактическую генерацию солнечной фотоэлектрической станции. Для достижения цели решены следующие задачи: рассмотрены принципы MPPT-регулирования; проанализированы параметры инверторов и фотоэлектрических модулей; выполнен расчет string-конфигурации 10kW станции; проведено сравнение с эксплуатационными данными 30kW станции; оценены потенциальные потери генерации при наличии MPPT mismatch.

Научная ценность исследования заключается в установлении связи между фактическим рабочим напряжением PV-стрингов, номинальным входным напряжением MPPT-инвертора и способностью системы длительно удерживать точку максимальной



мощности. Практическая ценность состоит в возможности применения предложенного подхода при проектировании и модернизации ФЭС для выбора количества модулей в стринге, снижения mismatch-потерь, повышения годовой генерации и улучшения экономических показателей эксплуатации.

Методы и материалы

Объектом исследования являются сетевые солнечные фотоэлектрические станции различной мощности, работающие на базе MPPT-инверторов. Основной расчетный пример выполнен для 10kW фотоэлектрической станции с инвертором ASN-10SL Auxsol и фотоэлектрическими модулями LP182×210-M-66-NB-610W. Для сопоставления использованы эксплуатационные данные 30kW фотоэлектрической станции на базе инвертора HUAWEI SUN2000-30KTL-M3.

Методика исследования включает анализ паспортных параметров инверторов и PV-модулей, расчет рабочего напряжения стринга, проверку соответствия string-конфигурации MPPT-диапазону, анализ суточных графиков генерации и оценку потенциальной недовыработки электроэнергии. Для 10kW станции использованы данные мониторинга AuxsolCloud [21], а для 30kW станции - данные системы mini DataWarehouse [22].

В работе рассматривается не сравнение отдельных проектов как таковое, а зависимость выходной мощности и общей генерации фотоэлектрической системы от параметров MPPT-контроллера, реального рабочего напряжения PV-стрингов и способности инвертора удерживать точку Maximum Power Point.

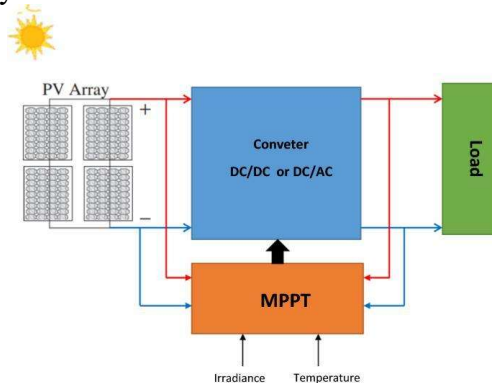


Рис. 1. Принципиальная схема подключения MPPT-контроллера к PV-массиву и нагрузке.

Теоретические основы MPPT-согласования PV-стрингов MPPT-контроллер (Maximum Power Point Tracking) является ключевым интеллектуальным элементом современной фотоэлектрической станции. Его задача состоит в непрерывном определении рабочей точки, при которой PV-массив вырабатывает максимальную мощность при текущем уровне солнечной радиации, температуре модулей, состоянии нагрузки и параметрах электрической сети [3-5].

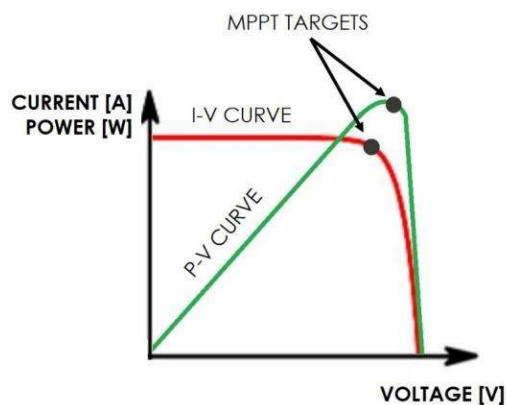


Рис. 2. Определение точки максимальной мощности MPPT-контроллером [4].



В процессе работы МРРТ-контроллер анализирует входное напряжение и ток солнечных панелей, изменение солнечной радиации, температуру фотоэлектрических модулей, изменение нагрузки и состояние электрической сети. На основе этих данных контроллер изменяет режим DC/DC-преобразователя и удерживает PV-массив в области максимальной мощности.

Основное уравнение мощности фотоэлектрической системы определяется выражением:

$$P = U \cdot I \quad (1)$$

где P - электрическая мощность; U - напряжение; I - ток.

Максимальная мощность достигается при условии:

$$\frac{dP}{dU} = 0 \quad (2)$$

Данное условие соответствует точке Maximum Power Point (MPP), в которой фотоэлектрическая панель способна вырабатывать максимальную мощность при текущих климатических и электрических условиях. Фотоэлектрическая панель имеет нелинейную вольтамперную характеристику. Положение MPP изменяется под влиянием облачности, перегрева модулей, запыленности, частичного затенения, нестабильности сети, потерь в кабельных линиях и изменения сопротивления нагрузки. Поэтому МРРТ-контроллер должен выполнять динамическое перестроение рабочей точки в реальном времени [16,17].

В современных инверторах применяются алгоритмы Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance, Fuzzy Logic, Artificial Intelligence МРРТ и Rapid МРРТ. Современные МРРТ-системы характеризуются высоким коэффициентом отслеживания точки максимальной мощности:

$$\eta_{\text{МРРТ}} > 99.5\% \quad (3)$$

При этом эффективность DC/DC-преобразования может достигать:

$$\eta_{\text{DC/DC}} \approx 98\% \quad (4)$$

Однако высокий паспортный КПД инвертора не гарантирует высокой фактической генерации, если рабочее напряжение PV-стрингов находится вне эффективной зоны МРРТ. Поэтому при проектировании станции необходимо учитывать не только установленную мощность модулей, но и согласование string-конфигурации с Rated PV Input Voltage, МРРТ Voltage Range и Maximum PV Voltage инвертора.

Параметры исследуемой 10kW ФЭС и расчет STRING-конфигурации

В исследуемой 10kW фотоэлектрической станции используется инвертор ASN-10SL Auxsol. Его основные входные параметры приведены в таблице 1 [18].

Таблица 1

Технические параметры инвертора ASN-10SL Auxsol

№	Параметр	Значение
1	Rated PV input voltage	380 V
2	MPPT voltage range	40–550 V
3	Max. PV input voltage	600 V
4	Start-up voltage	40 V

В качестве фотоэлектрических панелей выбрана модель LP182×210-M-66-NB-610W. Электрические характеристики модуля представлены в таблице 2 [19].

Таблица 2

Электрические характеристики фотоэлектрического модуля LP182×210-M-66-NB-610W

№	Параметр	Значение
1	Номинальная мощность	610 W
2	V_{mp}	40.05 V
3	V_{oc}	48.52 V
4	I_{mp}	15.84 A
5	I_{sc}	16.55 A



При проектировании станции были проанализированы варианты последовательного соединения фотоэлектрических модулей. Оптимальным вариантом для рассматриваемого инвертора является соединение 10 панелей в одном стринге. В этом случае рабочее напряжение стринга составляет:

$$U_{mp}=10 \times 40.05=400.5V \quad (5)$$

а напряжение холостого хода:

$$U_{oc}=10 \times 48.52=485.2V \quad (6)$$

Полученное значение находится внутри MPPT-диапазона инвертора и не превышает максимально допустимое входное напряжение 600 V. Следовательно, система имеет запас по электрической защите и способна стабильно работать при изменении погодных условий.

В реальных условиях эксплуатации необходимо учитывать не только паспортные параметры модулей, но и их рабочие характеристики под нагрузкой. Практические измерения показали, что напряжение панели под нагрузкой снижается до:

$$36.4V \leq U_{load} \leq 39.2V \quad (7)$$

В результате реальное рабочее напряжение string-системы составляет:

$$364V \leq U_{string} \leq 392V \quad (8)$$

Данный диапазон практически совпадает с Rated PV input voltage=380V инвертора ASN-10SL Auxsol. Такое соответствие является одним из ключевых факторов высокой эффективности станции, поскольку MPPT-контроллер работает наиболее устойчиво вблизи номинального входного напряжения.

Не менее важным параметром является ток стринга. В рассматриваемой системе рабочий ток панели составляет:

$$I_{mp}=15.84A \quad (9)$$

Максимальный входной ток MPPT-контроллера инвертора ASN-10SL Auxsol составляет:

$$I_{max}=16A \quad (10)$$

Следовательно, ток string-системы находится в допустимых пределах и не приводит к перегрузке MPPT-контроллера. Дополнительно был учтен ток короткого замыкания:

$$I_{sc}=16.55A \quad (11)$$

В условиях Узбекистана температура поверхности солнечных панелей летом может достигать +60...+70°C. Повышение температуры приводит к снижению рабочего напряжения модулей и смещению точки максимальной мощности. Поэтому проектирование ФЭС только по паспортным параметрам является недостаточным: необходимо учитывать реальные рабочие параметры PV-модулей под нагрузкой и согласовывать их с входными параметрами MPPT-инвертора [20].

Анализ графика генерации от 5 мая 2026 года показывает стабильную работу станции: инвертор длительное время удерживал мощность около номинального значения:

$$P \approx 10 \text{ kW} \quad (12)$$

Суточная генерация составила:

$$E_{day}=82.54 \text{ kWh} \quad (13)$$

Такая форма суточного профиля подтверждает корректную работу MPPT, правильный подбор string-конфигурации и соответствие рабочего напряжения стринга параметрам инвертора.

Даже в условиях нестабильной солнечной инсоляции MPPT-контроллер способен кратковременно возвращать систему к максимальной мощности. Например, 18 сентября 2025 года при сильной облачности наблюдались кратковременные выходы станции на:

$$P \approx 10 \text{ kW} \quad (14)$$

которая указывает на быструю реакцию MPPT-контроллера на изменение солнечной радиации и корректную перестройку рабочей точки PV-массива.

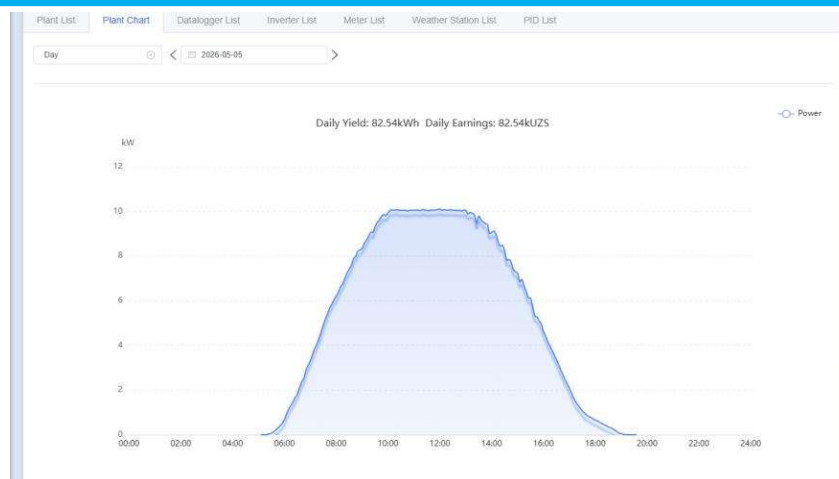


Рис. 3. Суточный профиль выходной мощности инвертора при работе MPPT-контроллера [21].

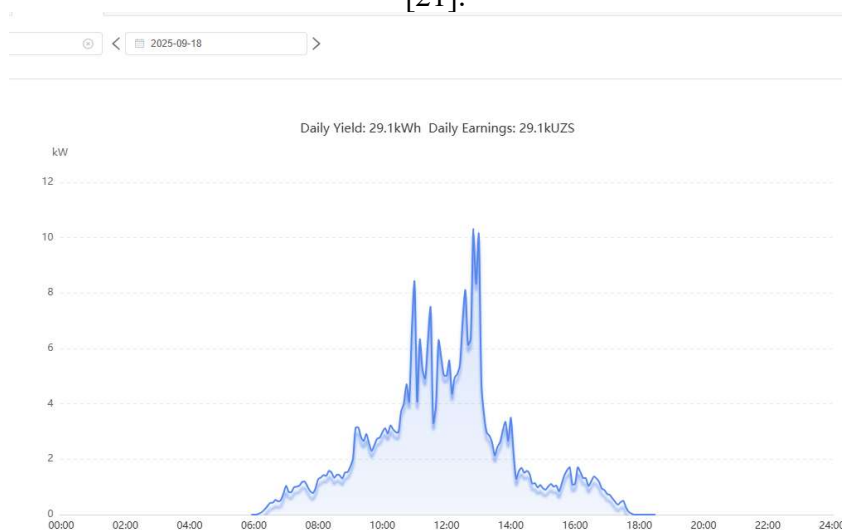


Рис.4. Колебания выходной мощности фотоэлектрической системы в условиях нестабильной солнечной инсоляции [21].

Отдельные резкие провалы мощности, наблюдаемые на графиках мониторинга, не всегда связаны с фотоэлектрическими модулями. Они могут быть обусловлены помехами электрической сети, кратковременным отключением инвертора, срабатыванием защит или повторной синхронизацией MPPT с сетью. После восстановления сетевых параметров инвертор снова возвращается к точке максимальной мощности.

Анализ 30kW ФЭС и оценка MPPT MISMATCH-потерь. Одной из наиболее серьезных проблем фотоэлектрических станций является эффект MPPT mismatch. Он возникает при неправильном подборе количества панелей в стринге, несоответствии string-напряжения эффективной зоне MPPT, различии параметров модулей, перегреве, частичном затенении или нерациональной архитектуре string-массивов. В таких условиях MPPT-контроллер не способен длительно удерживать точку максимальной мощности.

Сравнительный анализ 30kW фотоэлектрической станции показал, что даже в благоприятные солнечные дни система практически не удерживала номинальное значение:

$$P=30 \text{ kW} \quad (15)$$

По графикам мониторинга фактическая мощность чаще находилась в диапазоне:

$$P \approx 12-24 \text{ kW} \quad (16)$$

Это указывает на возможное несоответствие рабочих параметров PV-стрингов эффективной зоне MPPT и недостаточное удержание Maximum Power Point.

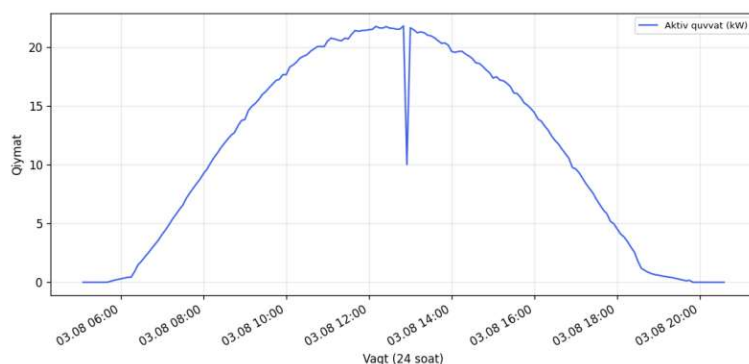


Рис. 5. Суточная характеристика генерации 30kW фотоэлектрической станции при отклонении от номинального режима работы MPPT-контроллера (03.08.2025) [22].

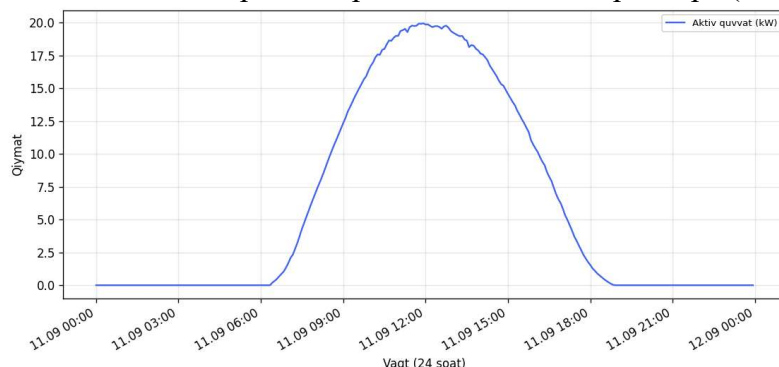


Рис. 6. Стабильный режим генерации мощности 30kW фотоэлектрической станции при эффективной работе MPPT-контроллера (11.09.2025) [22].

Данные, полученные через систему mini DataWarehouse, позволяют анализировать активную мощность, напряжение MPPT, ток string-массивов, суточную и общую генерацию, эффективность инвертора, параметры электрической сети, температурные показатели, динамику работы MPPT-контроллера и аварийные события [22].

Для 30kW станции на базе инвертора HUAWEI SUN2000-30KTL-M3, согласно техническим характеристикам, максимальная эффективность составляет 98.7%, диапазон работы MPPT и номинальные входные параметры имеют следующие значения:

$$U_{MPPT}=200\text{ V}\sim 1000\text{ V}, \quad (17)$$

$$U_{rated}=600\text{ V}, \quad (18)$$

$$I_{MPPT, max}=27\text{ A}. \quad (19)$$

Анализ 10-дневных выборок каждого месяца показал, что в течение исследуемого периода фактическая выходная мощность станции изменялась в диапазоне:

$$11 \leq P \leq 27\text{ kW} \quad (20)$$

при номинальной мощности инвертора:

$$P_{nom}=30\text{ kW}. \quad (21)$$

При условии корректного согласования string-конфигурации с параметрами MPPT и стабильного удержания номинальной точки 30 kW расчетная генерация за анализируемый период могла составить:

$$E_{calc}=1497.38\text{ kWh}. \quad (22)$$

Фактическая генерация составила:

$$E_{real}=1142.78\text{ kWh}. \quad (23)$$

Следовательно, потенциальная потеря энергии оценивается на уровне:

$$\Delta E=354.6\text{ kWh} \quad (24)$$

что соответствует примерно:

$$\Delta E\% = 23.68\%. \quad (25)$$

Если предположить, что аналогичный уровень потерь повторяется в среднем каждые 10 дней, то за 245 дней эксплуатации суммарная потенциальная недовыработка может достигать:

$$\Delta E_{\text{year}} \approx 354.6 \times 24.5 = 8687.7 \text{ kWh} \approx 8.69 \text{ MWh}. \quad (26)$$

Полученные результаты подтверждают, что снижение годовой генерации связано не только с климатическими условиями, но и с недостаточно эффективным согласованием параметров MPPT-контроллера, string-конфигурации и рабочего напряжения фотоэлектрических модулей. Для промышленных ФЭС недовыработка почти 9 MWh в год является значимым экономическим показателем, влияющим на срок окупаемости, коэффициент использования установленной мощности и финансовую эффективность эксплуатации.

Проведенное исследование показало, что энергетическая эффективность солнечной фотоэлектрической станции определяется не только установленной мощностью PV-модулей и паспортным КПД инвертора, но и степенью согласования фактического рабочего напряжения PV-стрингов с параметрами MPPT-инвертора.

Для 10kW станции последовательное соединение 10 модулей LP182×210-M-66-NB-610W обеспечивает рабочий диапазон напряжения стринга 364-392 V, что соответствует номинальному входному напряжению инвертора ASN-10SL Auxsol, равному 380 V и позволяет MPPT-контроллеру устойчиво удерживать точку максимальной мощности и обеспечивать суточную генерацию 70-82 kWh.

Для 30kW станции выявлено, что отклонение рабочих параметров PV-стрингов от эффективной зоны MPPT приводит к недоиспользованию установленной мощности. Потенциальные потери генерации за исследуемый период составили 354.6 kWh, или 23.68%, а при годовой экстраполяции - около 8.69 MWh.

Таким образом, при проектировании современных ФЭС необходимо учитывать Rated PV Input Voltage, MPPT Voltage Range, реальные рабочие напряжения PV-стрингов, температурные коэффициенты модулей, токовые ограничения MPPT-каналов и продолжительность удержания точки Maximum Power Point. Игнорирование этих параметров может привести к значительным потерям генерации даже при использовании современных инверторов с высоким паспортным КПД.



Рис.7. Определение точки максимальной мощности (MPP) в фотоэлектрической системе.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что энергетическая эффективность солнечных фотоэлектрических станций в значительной степени определяется



не только установленной мощностью PV-модулей и паспортным КПД инвертора, но и степенью согласования реального рабочего напряжения PV-стрингов с параметрами MPPT-инвертора. На примере 10кВт фотоэлектрической станции показано, что при рабочем диапазоне напряжения стринга 364-392 В, соответствующем номинальному входному напряжению инвертора 380 В, MPPT-контроллер обеспечивает устойчивое удержание точки максимальной мощности и стабильную суточную генерацию 70-82 кВт·ч. Сравнительный анализ 30-кВт фотоэлектрической станции выявил, что отклонение рабочих параметров PV-стрингов от эффективной зоны MPPT приводит к снижению фактической выходной мощности, появлению MPPT mismatch и потенциальным потерям генерации до 23,68 %, что при экстраполяции на 245 дней эксплуатации может составить около 8,69 МВт·ч. Полученные результаты подтверждают необходимость обязательного учета MPPT Voltage Range, Rated PV Input Voltage, температурных характеристик модулей и реальных рабочих параметров стрингов при проектировании солнечных фотоэлектрических станций, поскольку комплексное согласование параметров MPPT-системы позволяет повысить годовую генерацию, снизить энергетические потери и улучшить экономическую эффективность эксплуатации ФЭС в климатических условиях Узбекистана.

Список литературы

- [1]. Специальный доклад МГЭИК по возобновляемым источникам энергии и смягчению воздействий на изменение климата. – Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC), 2011.
- [2]. Аъзамов С.С. Анализ показателей качества электроэнергии, вырабатываемой солнечной фотоэлектрической системой // Universum: технические науки. – 2025. – № 11(140).
- [3]. Alencon Systems. Learning: MPPT. – Alencon Systems.
- [4]. Action Power Test. Photovoltaic MPPT. – Action Power Test.
- [5]. Victron Energy. Which Solar Charge Controller: PWM or MPPT? – Victron Energy.
- [6]. R-MPPT Solar Inverters vs PWM Solar Inverters: Which One Is Right for You? – UPS Inverter.
- [7]. Huawei Technologies Co., Ltd. Huawei SUN2000-5KTL-L1 Datasheet. – 2025.
- [8]. SOFAR Solar. SOFAR 5000TL-G3 Datasheet. – 2025.
- [9]. Deye Inverter Technology Co., Ltd. Deye SUN-5K-SG04LP1-EU Datasheet. – 2025.
- [10]. Huawei Technologies Co., Ltd. Huawei SUN2000-12/15/17/20/25KTL-M5 Datasheet. – 2025.
- [11]. SOFAR Solar. SOFAR 25K~50KTLX-G3 Datasheet. – 2025.
- [12]. Deye Inverter Technology Co., Ltd. Three Phase String Inverter Datasheet. – 2025.
- [13]. Huawei Technologies Co., Ltd. Huawei SUN2000-100KTL-M2 Datasheet. – 2025.
- [14]. SOFAR Solar. SOFAR 110K~125KTLX-G4 Datasheet. – 2025.
- [15]. Deye Inverter Technology Co., Ltd. Deye SUN-70/75/80/90/100/110K-G03 Datasheet. – 2025.
- [16]. Белова И.А. Фотоэлектрическая система генерирования на базе полупроводникового преобразователя с нейросетевой системой управления: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2022.
- [17]. Bollipo R.B., Mikkili S., Bonthagorla P.K. Optimal, Intelligent and Classical PV MPPT Techniques: A Review // CSEE Journal of Power and Energy Systems. – 2021. – Vol. 7. – No. 1.
- [18]. AUXSOL. Single Phase On-Grid Inverter Datasheet. – AUXSOL, 2025.
- [19]. LP182×210-M-66-NB 610–630 W Solar Panel Datasheet. – ENF Solar, 2025.
- [20]. Аль-Акайши Ахмед Саед Абдулсада. Разработка методики выбора параметров и расположения солнечных электростанций на примере Республики Ирак: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2023.
- [21]. AuxsolCloud Monitoring System. – AUXSOL Cloud Platform.
- [22]. mini DataWarehouse. – Информационно-аналитическая система мониторинга фотоэлектрических станций.