

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ПОДКЛЮЧЕННОЙ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ PVSYSYSTEM

О. В. Косарева-Володько, Алилу Сани Маман Кабиру, Е. Н. Шафоростова

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва

Среди возобновляемых источников энергии наиболее важным ресурсом является фотоэлектрическая солнечная энергия. Нигер, расположенный в самом сердце Сахеля, является одной из самых солнечных стран в мире со средним ежедневным количеством солнечного света от 5 до 7 кВт · ч/м²/день. Несмотря на этот огромный солнечный потенциал, страна недостаточно использует этот ресурс из-за роста цен на сырье, что привело к увеличению стоимости установки фотоэлектрической системы. Целью данной работы является представление технического и экономического анализа фотоэлектрической системы мощностью 11 МВт, подключенной к электрической сети в Нигере. Для выполнения данной работы использовалось программное обеспечение PVsyst для генерации экономических и финансовых данных с использованием таких методов, как Levelized Cost of Energy (приведенная стоимость электроэнергии). В ходе данной оценки были сделаны предположения: место установки свободное, налоги и пошлины при покупке и транспортировке оборудования не будут учитываться, срок службы проекта составляет 20 лет.

После моделирования получены следующие результаты: приведенная стоимость энергии составляет 0,0138 евро/кВт · ч; чистая приведенная стоимость составляет 26 430 389 евро; внутренняя норма доходности составляет 40,92 %; срок окупаемости составляет 2,8 года; доходность инвестиций составляет 606,2 %.

Ключевые слова: LCOE метод; экономическая оценка фотоэлектрической системы; технико-экономический анализ фотоэлектрической системы; фотоэлектрическая система, подключенная к электрической сети; солнечный потенциал; программное обеспечение PVSystem.

Для цитирования: Косарева-Володько О. В., Алилу Сани Маман Кабиру, Шафоростова Е. Н. Экономическая оценка фотоэлектрической системы, подключенной к электрической сети при использовании программного обеспечения PVSystem // Омский научный вестник. 2025. № 3 (195). С. 51–59. DOI: 10.25206/1813-8225-2025-195-51-59. EDN: DVSYSG.



© Косарева-Володько О. В., Алилу Сани Маман Кабиру, Шафоростова Е. Н., 2025.
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

ECONOMIC EVALUATION OF A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM USING PVSYSYSTEM SOFTWARE

O. V. Kosareva-Volodko, Alilu Sani Maman Kabiru, E. N. Shaforostova

National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

Among renewable energy resources, photovoltaic solar energy is the most important resource. For photovoltaic installation system, capturing the maximum solar energy is a challenge, because many factors influence the energy production of the system. Among these factors, there are: technology choice which is generally expensive, orientation of the panel, ambient temperature and weather, geographical location of the solar irradiances and the tilt angle. To carry out a good project for sizing photovoltaic system, a technical-economic study must be carefully done. Located in the heart of the Sahel, Niger is one of the sunniest countries in the world with an average daily sunshine between 5 and 7 kW · h/m²/day. Despite this enormous solar potential, the country does not sufficiently exploit this resource due to the increase in the price of raw materials which has led to an increase in the cost of installing a photovoltaic system. The objective of this work is to present a technical and economic analysis of a grid connected

photovoltaic system in with a capacity of 11 MW in Niger. To do this work, PVsystem software was used for economical and financial data generation using methods like Levelized cost of electricity. During this evaluation, assumptions were made: the location of installation is free, taxes and duties during the purchase and transport of the equipment will not be considered and considering the start year of the project began in 2024 and the project lifetime is 20 years, after simulation of the results obtained: Levelized Cost of Energy is 0.0138 EUR/KW · h; Net present Value is 26 430 389 EUR; Internal rate of return is 40.92 %; Payback period is 2.8 Years; Return on investment is 606.2 %.

Keywords: LCOE method, economic evaluation of photovoltaic system, technical and economic analysis, photovoltaic system, grid connected photovoltaic system, solar potential, PVSystem software.

For citation: Kosareva-Volodko O. V., Alilu Sani Maman Kabiru, Shaforostova E. N. Economic evaluation of a grid-connected photovoltaic system using PVsystem software. *Omsk Scientific Bulletin*. 2025. No. 3 (195). P. 51–59. DOI: 10.25206/1813-8225-2025-195-51-59. EDN: DVSYSG.



© Kosareva-Volodko O. V., Alilu Sani Maman Kabiru, Shaforostova E. N., 2025.
The content is available under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

Фотоэлектрическая (PV) энергия — это чистая и бесплатная энергия, получаемая в результате прямого преобразования солнечного света в электричество фотоэлектрическим элементом посредством фотоэлектрического эффекта. Фотоэлектрическая технология в основном используется для освещения, отопления и производства электроэнергии. С точки зрения производства электроэнергии, эта технология используется для различных целей, таких как солнечная насосная установка для орошения, животноводства или производства питьевой воды [1–3]. Хотя эта технология пока еще дорогая, ее развитие в мире растет стремительными темпами с каждым годом [4, 5]. Рост популярности фотоэлектрических технологий обусловлен простотой их конструкции и практической реализации, экологичностью и меньшей потребностью в обслуживании [6, 7]. В отчете SolarPower Europe 2024 чистая мощность производства солнечной энергии, подключенная к мировой электросети в 2023 году, составляет 447 ГВт (78 % от 576 ГВт) новых мощностей возобновляемой энергии по сравнению с 66 % в 2022 году и 56 % в 2021 году. Эти результаты подтверждают роль фотоэлектрической солнечной энергетики как лидера в глобальном энергетическом переходе [7, 8].

В настоящее время жить без электричества очень сложно, поскольку основные виды социально-экономического развития требуют электроэнергии. Люди оснащают свои дома системами бесперебойного питания, такими как инверторы, чтобы преодолеть проблему отключения электроэнергии от основной электросети [8–11]. В развитых странах, таких как Россия или Китай, смешивание энергии является идеальным решением при возникновении проблемы перебоев в подаче электроэнергии [11]. В развивающихся странах, особенно в отдаленных районах, где отсутствует электросеть, население использует солнечные батареи для производства и хранения электроэнергии [12]. В странах Западной Африки, в частности в Нигере, где самый низкий уровень доступа к электричеству, принята государственная политика по обеспечению отдаленных районов электроэнергией за счет возобновляемых источников энергии, в частности солнечной фотоэлектрической энергии [13]. С ростом цен на сырье, что приводит к росту стоимости фотоэлектрических установок, необходимо провести тща-

тельное техническое и экономическое исследование. В данной работе представлено экономическое обоснование сетевой фотоэлектрической системы в Нигере.

Производство электрической энергии в Нигере

Нигер является одной из наименее электрифицированных в Африке. Такая ситуация обусловлена такими проблемами страны, как отсутствие безопасности, бедность, коррупция, климат и большая территория, которые препятствуют развитию электроэнергетического сектора Нигера. При уровне доступа к электроэнергии в 20 % в 2022 году большинство домохозяйств, подключенных к национальной электросети, расположены в столице Ниамее и регионах Доссо и Тиллабери. Согласно исследованию 2020 года, проведенному Центром энергетики и климата IFRI, потребление электроэнергии в Нигере оценивается в 1450 гигаватт-часов (ГВт·ч), из которых более 75 %, оцениваемых в 1107 ГВт·ч, импортируется из Нигерии. Что касается местного или национального производства, то оно обеспечивается: Niger Electricity Company (NIGELEC) — 269 ГВт·ч и Niger Coal Mining (SONICHAR) — 64,5 ГВт·ч. Но с середины 2021 года в рамках 15-летнего партнерства (ГЧП) BOOT (Build, Own, Operate and Transfer) в Нигер поставляется электроэнергия, производимая тепловыми электростанциями мавританской компании Istithmar Zest Africa, которые производят и продают электроэнергию NIGELEC. К этому добавлено производство электричества фотоэлектрическими мини-станциями, установленными по всей стране, число которых оценивается в 127 шт. в соответствии с докладом Министерства энергетики Нигера. Тем не менее другие проекты построения мини-фотоэлектрических электростанций необходимы, чтобы обеспечить доступ к электроэнергии в районах, не связанных с национальной электрической сетью. На рис. 1, 2 отражены соответственно показатели доступа к энергетическим услугам и производство электроэнергии источниками в Нигере с 2010 по 2022 год.

Мировая глобальная эволюция производства фотоэлектрической энергии

В связи с ростом спроса на электроэнергию во всем мире использование возобновляемых источников энергии увеличивается с каждым годом.

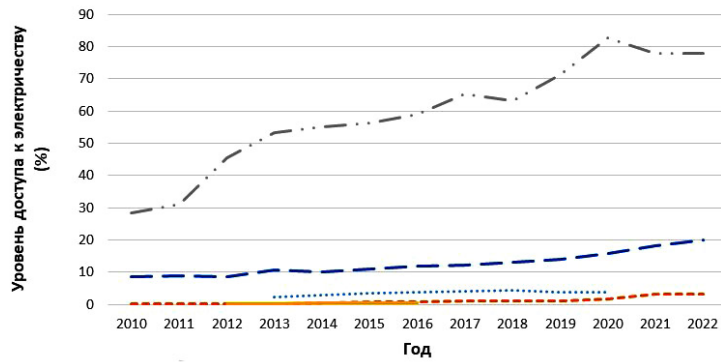


Рис. 1. Показатели доступа к энергетическим услугам:
 — уровень доступа к электричеству в стране, (%);
 — уровень доступа к электричеству в городах, (%);
 — домохозяйства, использующие сжиженный нефтяной газ для приготовления пищи, (%);
 — уровень доступа к электричеству в сельской местности, (%);
 — домохозяйства, использующие электричество для приготовления пищи, (%)

Fig. 1. Indicators of access to energy services:
 — national electricity access rate, (%);
 — urban electricity access rate, (%);
 — households using LPG for cooking, (%);
 — rural electricity access rate, (%);
 — households using electricity for cooking, (%)

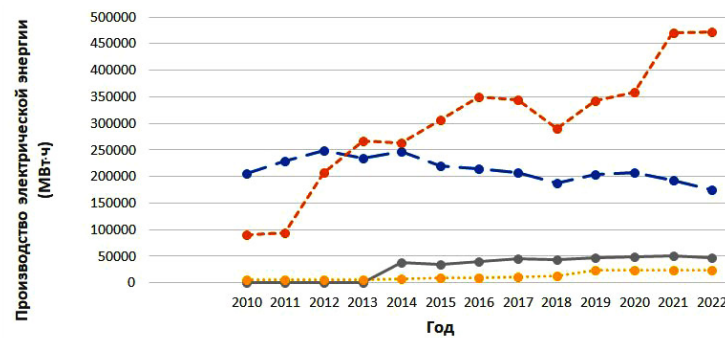


Рис. 2. Производство электрической энергии (МВт·ч):
 — минеральный уголь; — сырая нефть и нефтепродукты;
 — природный газ; — солнечные батареи

Fig. 2. Production of electrical energy (MW·h):
 — mineral coal; — crude oil and petroleum products;
 — natural gas; — solar panels

Фотоэлектрическая солнечная энергия занимает важное место в мировом производстве электроэнергии. Массовое использование фотоэлектрической солнечной энергии объясняется тем, что эта энергия отвечает целям устойчивого развития и играет решающую роль в энергетическом балансе [14, 15]. В результате многие страны приняли политику, направленную на внедрение фотоэлектрической солнечной энергии для производства электричества, чтобы решить еще одну важную проблему, а именно защитить окружающую среду от выбросов парниковых газов.

В настоящее время наиболее широко используемыми фотоэлектрическими технологиями являются: поликристаллические (p-Si), монокристаллические (m-Si) и аморфные (a-Si). В настоящее время, благодаря своей надежности, кристаллические фотоэлектрические солнечные модули занимают около 90 % рынка солнечных технологий в мире [16, 17]. В докладе World Energy Outlook 2020 «Сценарий Net Zero Emission by 2050» прогнозируется, что установленная мощность производства солнечной

фотоэлектрической энергии в мире в 2025 году составит около 1840 ГВт·ч и увеличится до 3929 ГВт·ч к 2030 году. В этом контексте солнечная фотоэлектрическая энергия обеспечит 5420 ТВт·ч, или 15,9 % мировой энергии.

На рис. 3 показана эволюция установленной мощности солнечной энергии во всем мире с 2010 по 2022 год [18, 19].

Структура солнечной фотоэлектрической установки, подключенной к электрической сети

Фотоэлектрическая установка без накопителя электроэнергии, напрямую подключенная к электросети в течение дня, состоит из фотоэлектрического генератора, который улавливает солнечное излучение и преобразует его в электричество благодаря фотоэлектрическому эффекту; преобразователя постоянного тока в переменный; контроллера МРРТ (Maximum Power Point Tracking), повышающего трансформатора переменного тока и точки ввода в электросеть. Упрощенная структура этой установки показана на рис. 4.

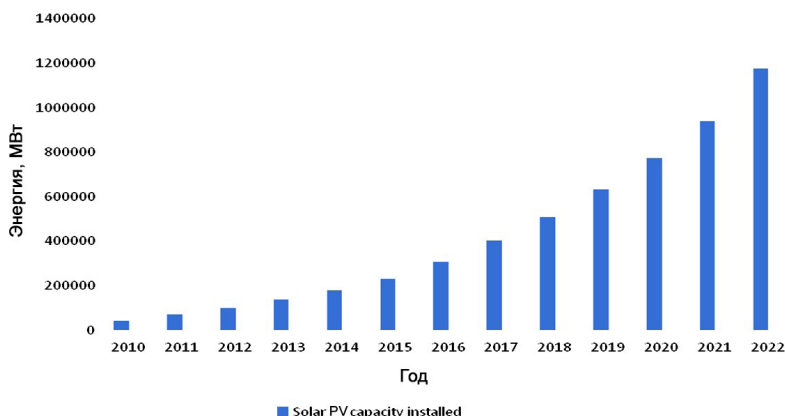


Рис. 3. Установленная мощность солнечных фотоэлектрических установок в мире с 2010 г. по 2022 г. [17, 18]

Fig. 3. Installed capacity of solar PV installations in the world from 2010 to 2022 [17, 18]

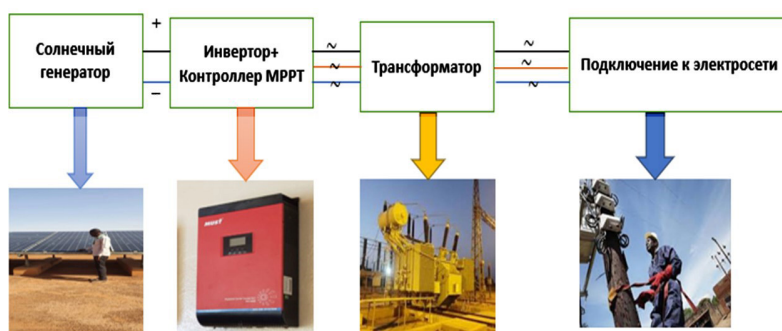


Рис. 4. Упрощенная структура солнечной фотоэлектрической установки без накопителя, подключенной к электрической сети

Fig. 4. Simplified structure of a solar PV installation without storage, connected to the grid, used directly during the day

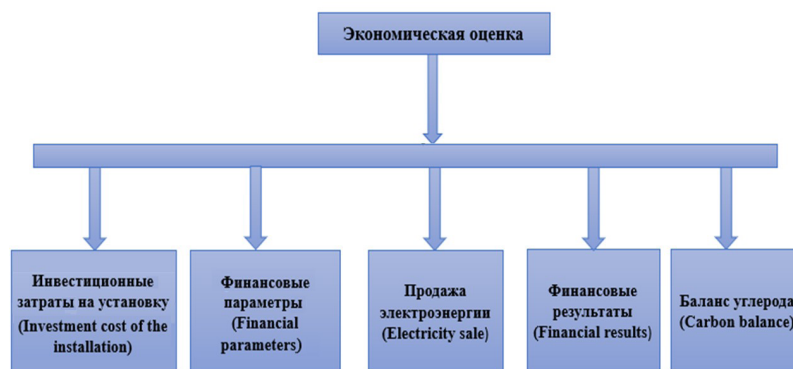


Рис. 5. Структура экономической оценки сетевой фотоэлектрической установки с использованием программного обеспечения PVSystem

Fig. 5. Structure of economic evaluation of grid-connected PV installation using PVSystem software

Описание экономической и технической оценки фотоэлектрической установки, подключенной к электрической сети с использованием программного обеспечения PVSystem

Экономическая и техническая оценка сетевой фотоэлектрической системы является важным шагом, который должен быть выполнен с особым вниманием, поскольку он состоит из определения

инвестиционных затрат на установку, финансовых параметров, продажи электроэнергии, финансовых результатов и баланса углерода. Для выполнения этой работы используется программное обеспечение PVSystem, предназначенное для проектирования и моделирования проектов фотоэлектрической солнечной энергетики. На рис. 5 показана структура экономической оценки сетевой фотоэлектрической установки с использованием программного обеспечения PVsystem.

Инвестиционные затраты на установку

Инвестиционные затраты на установку включают в себя покупку оборудования, рабочую силу для установки оборудования, налоги, пошлины и покупку земли.

В этом случае, когда земля, на которой будет располагаться установка, рассматривается как приобретение, налоги и пошлины на покупку оборудования не будут учитываться.

Финансовые параметры включают: продолжительность проекта, инвестиции, собственный капитал, гранты и кредиты.

Продажа электроэнергии

Этот шаг объединяет метод ценообразования и тариф на выкуп электроэнергии. Метод ценообразования считается фиксированным, а тариф на выкуп электроэнергии составляет 0,11 евро/кВт·ч.

Углеродный баланс

Углеродный баланс относится к разнице между выбросами углерода и секвестрацией углерода в системе. Углеродный баланс фотоэлектрической установки также позволяет предсказать количество выбросов парниковых газов, которые следует избегать.

Экономика

Включает инвестиционные затраты на установку, финансовые параметры, доходность инвестиций (ROI — Return on Investment), срок окупаемости (payback period), чистую приведенную стоимость (NPV — Net Present Value), внутреннюю норму доходности (IRR — Internal Rate of Return) и приведенную стоимость энергии (LCOE — Levelized Cost of Energy).

$$ROI = \frac{CVI - CI}{CI}, \quad (1)$$

где *CVI* (Current Value of Investment) — текущая стоимость инвестиций;

CI (Cost of Investment) — стоимость инвестиций;

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{A}{(1+S)^t}, \quad (2)$$

где *A* — приток денежных средств — отток в течение одного периода (cash inflow — outflows during a single period);

S — ставка дисконтирования (discount rate);

t — количество периодов времени (number of time periods).

Формула для определения *IRR* выглядит следующим образом:

$$0 = NPV + \sum_{t=1}^n \left(\frac{B}{(1+IRR)_t} - C \right), \quad (3)$$

где *B* — чистый приток денежных средств за период *t* (net cash inflow during period *t*); *C* — общая сумма первоначальных инвестиций (total initial investment).

Что касается энергетического проекта, то норма общей выработки электроэнергии системой в течение всего срока ее службы называется приведенной стоимостью энергии *LCOE*.

Формула для определения *LCOE* выглядит следующим образом:

$$LCOE = D + \sum_{t=1}^n \left(\frac{\frac{Z}{(1+J)^t}}{L} \right) \dots, \quad (4)$$

где *D* — инвестиционные расходы в евро (investment expenditure in EUR);

Z — общая годовая стоимость в евро в год *t* (annual total cost in EUR per year *t*);

t — срок действия проекта (year of project lifetime), где *t* — год;

L — объем произведенной электроэнергии, в кВт·ч в год (produced amount produced of electricity in KW·h per year);

J — реальная годовая процентная ставка в % (real annual interest rate in %);

n — экономическая продолжительность жизни в годах (economic lifetime in years).

Методология

В заключение нужно отметить, чтобы получить мощность 11 МВт, будет использован метод, приведенный в статье [20], то есть создается проектная и имитационная модель подсистемы мощностью 800 кВт в среде программного обеспечения PVSystem, а затем умножается на 14, чтобы получить мощность 11 МВт. Разработанная модель будет состоять из 29120 фотоэлектрических панелей мощностью 385 Вт каждая (включая 211 кВт запас прочности, учитывающий неблагоприятные погодные условия, такие как облачное небо и экстремальные температуры, которые влияют на производительность фотоэлектрических панелей, а также с учетом собственного потребления (self-consumption)), 133 инверторов MPPT мощностью 66 кВт переменного тока каждый и трансформатора среднего напряжения мощностью 11 МВт. В табл. 1 показаны инвестиции и расходы проекта [20].

Результаты и обсуждение

Тарифный режим считается фиксированным, а тариф на покупку электроэнергии составляет 0,11 евро/кВт·ч. После моделирования были получены следующие результаты: системная и финансовая информация представлена в табл. 2, подробные экономические результаты показаны в табл. 3, другие результаты представлены в графической форме на рис. 6–9.

Анализ табл. 2 и 3 показывает следующие результаты.

В табл. 2 представлена не только техническая информация о системе, а именно тип используемой фотоэлектрической системы, количество энергии, вырабатываемой фотоэлектрической системой и количество предотвращенных выбросов парниковых газов, но и финансовая информация о проекте на протяжении всего срока его службы.

В то время как табл. 3 содержит подробную финансовую информацию о проекте, касающуюся кредитов, продажи энергии, налогов, пошлин и т. д.

Рис. 6 представляет нормализованные факторы производства и потерь и показывает, что 66 % произведенной энергии используется, т. е. вводится в электросеть, 3,3 % представляют потери, связанные с системой, и 30,8 % потерь связаны с фотоэлектрическими коллекторами, которые не могут уловить максимальное количество солнечного излучения. Что касается анализа рис. 7, он показыва-

Таблица 1. Инвестиции и расходы
Table 1. Investment and charges

Фотоэлектрические модули / PV modules	Quantity (Количество)	Unit price (Цена за единицу), EUR	Total price (Общая цена), EUR
TSM-DE IS H-(II)-385	29 120	100	2 912 000
Поддержка модулей / Supports modules	29 120	50	1 456 000
Solar inverter M80H 400V AC	133	3 500	465 500
Стоимость установки / Installation cost	—	—	303 530
Другие компоненты / Others components	—	—	599 400
Исследования и анализы / Studies and analysis	—	—	8 000
Страхование / Insurance	—	—	0
Стоимость земли / Land costs	—	—	0
Сборы за кредит / Loan bank charges	—	—	0
Налоги / Taxes	—	—	0
Ежегодные эксплуатационные расходы / Operating costs yearly	—	—	94 100
Общая стоимость установки / Total installation costs	—	—	5 744 430

Таблица 2. Системная и финансовая информация
Table 2. System and financial information

Название проекта / Project name	Система, подключенная к сети / Grid-connected PV System
Номинальная мощность массива фотоэлектрических систем, кВт·ч / PV Array nominal capacity, KW·h	11211
Произведенная энергия, МВт·ч/год / Produced Energy, MW·h/Year	16088
Стоимость установки, евро / Installation costs, EUR	5 278 930
Общая годовая стоимость, евро/год / Total yearly cost, EUR/Year	38 909,90
Нормированная стоимость электроэнергии, евро/кВт·ч / Levelized Cost of Energy (LCOE), EUR/KW·h	0,0138
Чистая приведенная стоимость, евро / Net Present Value (NPV), EUR	26 430 389
Продолжительность проекта, в годах / Project lifetime, Years	20
Год начала / Start year	2025
Внутренняя норма доходности / Internal Rate of Return (IRR)	40,92 %
Срок окупаемости, к годам / Payback period, Years	2,8
Доходность инвестиций / Return on investment (ROI), %	606,2
Сокращение выбросов CO ₂ , т. / Saved CO ₂ emissions, tons	3800,220

Normalized Production and Loss Factors: Nominal power 11.21 MWp

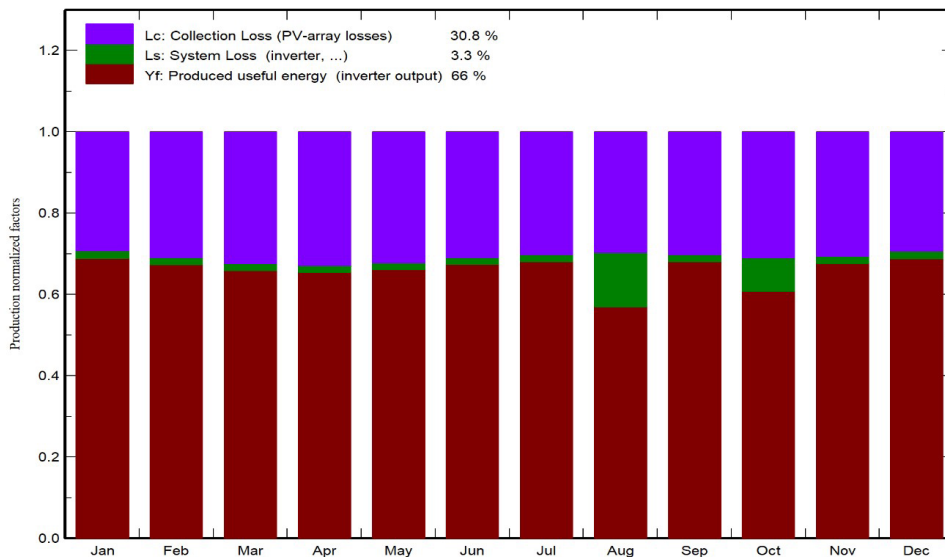


Рис. 6. Нормализованные коэффициенты добычи и потерь
Fig. 6. Normalized production and loss ratios

ет колебания в распределении напряжения фотоэлектрического поля. Это колебание напряжения можно объяснить тем фактом, что фотоэлектрическая солнечная энергия является прерывистой из-за определенных параметров, таких как пыль, снег, облака и т. д.

Анализ рис. 8 и 9 показывает, что:

— годовой денежный поток отрицателен с 2024 года инвестирования в ходе реализации проекта, но с 2025 по 2044 год, когда проект находится в эксплуатации, годовой денежный поток остается постоянным;

— накопленный денежный поток отрицателен и его значение уменьшается между 2024 и 2026 го-

Таблица 3. Подробные экономические результаты
Table 3. Detailed economic results

Год	<i>Es</i>	<i>Of</i>	<i>Lp</i>	<i>Li</i>	<i>Rc</i>	<i>Da</i>	<i>Ti</i>	<i>T</i>	<i>Atp</i>	<i>Cp</i>	<i>A, %</i>
0	1 776 715	4 000 000	0	0	0	0	0	0	0	- 4 000 000	0,0 %
1	1 776 715	0	33 809	7 444	94 100	270 795	1 404 376	210 656	1 430 706	- 2 569 294	30 %
2	1 776 715	0	34 147	7 106	94 100	270 795	1 404 314	210 707	1 430 655	- 1 138 638	61,7 %
3	1 776 715	0	34 488	6 765	94 100	270 795	1 405 056	210 758	1 430 604	291 966	92,6 %
4	1 776 715	0	34 833	6 420	94 100	270 795	1 405 400	210 810	1 430 552	1 722 518	123,5 %
5	1 776 715	0	35 181	6 072	94 100	270 795	1 405 749	210 862	1 430 500	3 153 018	154,4 %
6	1 776 715	0	35 533	5 720	94 100	270 795	1 406 101	210 915	1 430 447	4 583 466	185,3 %
7	1 776 715	0	35 888	5 364	94 100	270 795	1 406 456	210 968	1 430 394	6 013 860	216,2 %
8	1 776 715	0	36 247	5 006	94 100	270 795	1 406 815	211 022	1 430 340	7 444 200	247,1 %
9	1 776 715	0	36 610	4 643	94 100	270 795	1 407 177	211 077	1 430 288	8 874 486	278,0 %
10	1 776 715	0	36 976	4 277	94 100	270 795	1 407 543	211 132	1 430 231	10 304 717	309,0 %
11	1 776 715	0	37 346	3 907	94 100	270 795	1 407 913	211 187	1 430 176	11 734 893	339,9 %
12	1 776 715	0	37 719	3 534	94 100	270 795	1 408 287	211 243	1 430 120	13 165 012	370,8 %
13	1 776 715	0	38 096	3 157	94 100	270 795	1 408 664	211 300	1 430 063	14 595 075	401,8 %
14	1 776 715	0	38 477	2 776	94 100	270 795	1 409 045	211 357	1 430 006	16 025 081	432,7 %
15	1 776 715	0	38 862	2 391	94 100	270 795	1 409 430	211 414	1 429 948	17 455 029	463,7 %
16	1 776 715	0	39 251	2 002	94 100	270 795	1 409 818	211 473	1 429 890	18 884 919	294,7 %
17	1 776 715	0	39 643	1 610	94 100	270 795	1 410 211	211 532	1 429 831	20 314 750	525,6 %
18	1 776 715	0	40 040	1 213	94 100	270 795	1 410 607	211 591	1 429 771	21 744 521	556,6 %
19	1 776 715	0	40 440	813	94 100	270 795	1 411 008	211 651	1 429 711	23 174 233	587,6 %
20	1 776 715	0	40 844	408	94 100	270 795	1 411 412	211 712	1 429 651	24 603 884	618,6 %

Es (Electricity sale) — стоимость продаваемой электроэнергии; *Li* (Loan interest) — проценты по кредиту; *Ti* (Taxable income) — налогооблагаемый доход; *Of* (Owns funds) — собственные денежные средства; *Rc* (Run costs) — затраты на запуск; *T* (Taxes) — налоги; *Lp* (Loan principal) — величина кредита; *Da* (Depreciation allow) — разрешенная амортизация; *Atp* (After tax profit) — чистая прибыль после уплаты налогов; *Cp* (Cumulated profit) — кумулятивная прибыль; *A* (Depreciation in percentage) — амортизация в %.

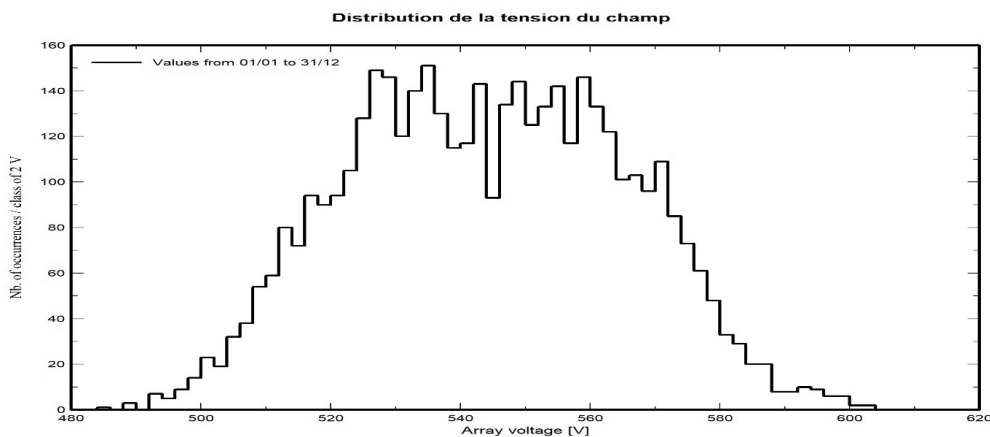


Рис. 7. Распределение напряжения на фотоэлектрическом поле
Fig. 7. Voltage distribution on the photovoltaic field

дами, но с 2027 по 2044 год его значение положительно и быстро увеличивается.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что проект может приносить прибыль и вложения быстро окупятся.

Заключение

В данном исследовании был проведен технико-экономический анализ установки фотоэлектрической электростанции мощностью 11 МВт, подключенной к национальной электросети Нигера, в среде программного обеспечения PVSystem.

В ходе экономической оценки проекта были рассмотрены не только финансовые инвестиции, необходимые для реализации проекта, но и годовые расходы на обслуживание системы. Согласно полученным результатам моделирования, доходность инвестиций составляет 606,2 %, а период окупаемости — 2,8 года.

Другим моментом является экологическая составляющая.

Применение солнечных панелей поможет сократить количество парниковых газов, которое составляет около 3800,22 тонны CO₂.

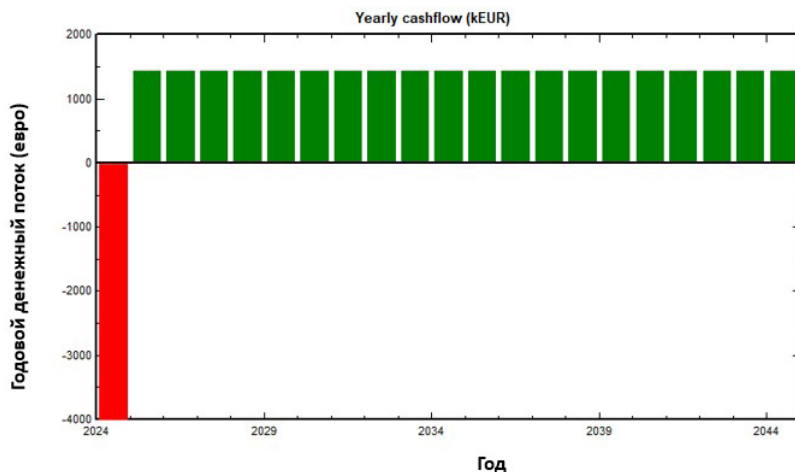


Рис. 8. Годовой денежный поток
 Fig. 8. Annual cash flow

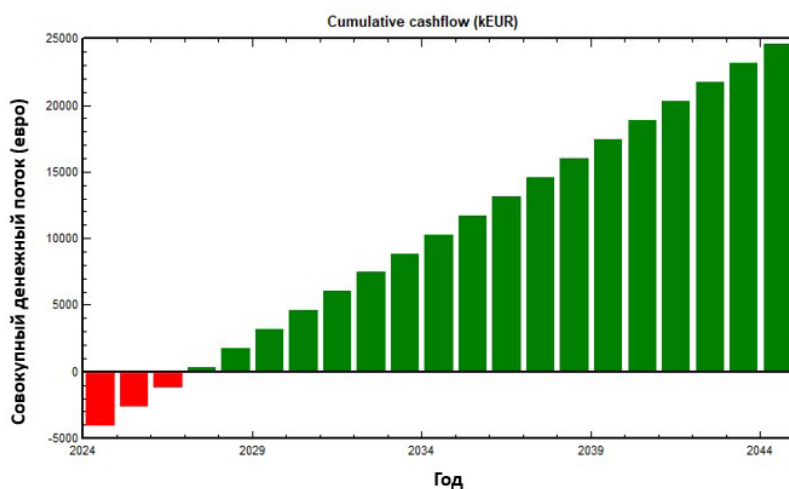


Рис. 9. Совокупный денежный поток
 Fig. 9. Total cash flow

Можно сделать вывод, что, с одной стороны, разработанный проект является прибыльным, а с другой — показывает эффективность, наглядность, а также доступность и простоту использования программного обеспечения PVSystem при реализации проектов фотоэлектрической солнечной энергетики.

Список источников / References

1. Bediar S., Harrouz A., Belatrache D. Design and simulation of solar pumping system using PVsyst, case study: TSABIT-ADRAR in Algeria. *Algerian Journal of Signals and Systems*. 2024. Vol. 9 (2). P. 47–56. DOI: 10.51485/ajss.v9i2.210.
2. Li G., Jin Y., Akram M. W., Chen, X. Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system — A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 79. P. 440–458. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.055.
3. Sharma R., Sharma S., Tiwari S. Design optimization of solar PV water pumping system. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 21 (3). P. 1673–1679. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.11.322.
4. Baddou Y. Solar thermal systems for domestic water heating applications in residential buildings. Efficiency and economic viability analysis of monitored plants: Master thesis in Renewable Energies and Energy Efficiency. 2017. 47 p.

5. Halder P. K. Potential and economic feasibility of solar home systems implementation in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 65. P. 568–576. DOI: 10.1016/j.rser.2016.07.062.
6. Milosavljević D. D., Kevkić T. S., Jovanović S. J. Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on case study. *Open Physics*. 2022. Vol. 20, Issue 1. P. 431–451. DOI: 10.1515/phys-2022-0042.
7. Schmela M. Global Market Outlook for Solar Power 2024–2028. SolarPower Europe. 2024. 148 p. ISBN 9789464669169. URL: <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2024-2028/detail> (accessed: 12.02.2025).
8. Akshai K. N. B., Senthil R. Economic evaluation of grid connected and standalone photovoltaic systems using PVsyst. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 912 (4). DOI: 10.1088/1757-899X/912/4/042074.
9. Emeara M. S., AbdelGawad A. F., Ahmed E. H. Hybrid Renewable Energy System for a Sustainable House-Power-Supply. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2021. Vol. 87 (1). P. 91–107. DOI: 10.37934/arfmts.87.1.91107.
10. Sancar M. R., Bayram A. B. Modeling and Economic Analysis of Greenhouse Top Solar Power Plant with PVsyst Software. *International Journal of Engineering and Innovative Research*. 2023. Vol. 5 (1). P. 48–59. DOI: 10.47933/ijeir.1209362.

11. Шикин В., Бандари А. Российско-индийское сотрудничество в области энергетики: торговля, совместные проекты, новые сферы: моногр. Москва: Некоммерческое партнерство «Российский совет по международным делам», 2017. 16 с.

Shikin V., Bandari A. Rossiysko-indiyskoye sotrudnichestvo v oblasti energetiki: torgovlya, sovmestnyye proyekty, novyye sfery [Russia – India energy cooperation: trade, joint projects, and new areas]. Moscow, 2017. 16 p. (In Russ.).

12. Ibegbulam Ch., Adeyemi O. O., Fogbonjaiye O. C. Adoption of Solar PV in Developing Countries: Challenges and Opportunity. *International Journal of Physical Sciences Research*. 2023. DOI: 10.37745/10.37745/ijpsr.17/vol7n13657.

13. Niger: Atténuation des risques des investissements dans les énergies renouvelables. URL: <https://africaminigrids.org/wp-content/uploads/2023/12/DREI-Niger-Resultats-Complets-Mars-2023.pdf> (accessed: 12.02.2025).

14. Bortolini M., Gamberi M., Graziani A., Mora C. [et al.]. Multi-parameter analysis for the technical and economic assessment of photovoltaic systems in the main European Union countries. *Energy Conversion and Management*. 2013. Vol. 74. P. 117 – 128. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.04.035.

15. Elomari Y., Norouzi M., Marín-Genescà M., Fernández A. [et al.]. Integration of Solar Photovoltaic Systems into Power Networks: A Scientific Evolution Analysis. *Sustainability*. 2022. Vol. 14 (15). 9249. DOI: 10.3390/su14159249.

16. Zsiborács H., Baranyai N. H., Csányi S., Vincze A. [et al.]. Economic analysis of grid-connected PV system regulations: A Hungarian case study. *Electronics*. 2019. Vol. 8 (2). 149. DOI: 10.3390/electronics8020149.

17. Cristea C., Cristea M., Birou I., Tornovan R-A. Economic assessment of grid-connected residential solar photovoltaic systems introduced under Romania's new regulation. *Renewable Energy*. 2020. DOI : 10.1016/j.renene.2020.07.130.

18. SolarPower Europe (2022): Perspectives du marché mondial de l'énergie solaire 2022–2026. 116 p. ISBN 9789464518610.

19. SolarPower Europe (2023): Global Market Outlook for Solar Power 2023–2027. URL: <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027/detail> (accessed: 12.02.2025).

20. Косарева-Володько О. В., Алилу Сани Маман Кабир. Проектирование и моделирование фотоэлектрических систем с помощью программного обеспечения PVsystem // Омский научный вестник. 2024. № 4 (192). С. 91–99. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-192-91-99. EDN: CEQYVR.

Kosareva-Volodko O. V., Alilu Sani Maman Kabiru. Proyektirovaniye i modelirovaniye fotoelektricheskikh sistem s pomoshch'yu programmnoy obeshcheniya PVsystem [Design and simulation of photovoltaic systems using PVsystem software]. Omskiy nauchnyy vestnik. *Omsk Scientific Bulletin*. 2024. No. 4 (192). P. 91 – 99. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-192-91-99. EDN: CEQYVR. (In Russ.).

КОСАРЕВА-ВОЛОДЬКО Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» (Университет МИСИС), г. Москва.

SPIN-код: 9100-5274

AuthorID (РИНЦ): 352831

AuthorID (SCOPUS): 57207833888

Адрес для переписки: kosareva-volodko@rambler.ru

АЛИЛУ САНИ МАМАН КАБИРУ, аспирант кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности Университета МИСИС, г. Москва.

ORCID: 0009-0001-6656-7961

Адрес для переписки: halilousani4@gmail.com

ШАФОРОСТОВА Елена Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия), доцент кафедры автоматизированных систем управления Университета МИСИС, г. Москва.

SPIN-код: 8033-2783

AuthorID (РИНЦ): 776611

Адрес для переписки: shaf-elena@yandex.ru

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила в редакцию 20.03.2025; одобрена после рецензирования 17.06.2025; принята к публикации 25.06.2025.

KOSAREVA-VOLODKO Olga Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry Department, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow.

SPIN-code: 9100-5274

AuthorID (RSCI): 352831

AuthorID (SCOPUS): 57207833888

Correspondence address: kosareva-volodko@rambler.ru

ALILU SANI MAMAN KABIRU, Postgraduate at the Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry Department, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow.

ORCID: 0009-0001-6656-7961

Correspondence address: halilousani4@gmail.com

SHAFOROSTOVA Elena Nikolaevna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Controlled Management Systems Department, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow.

SPIN-code: 8033-2783

AuthorID (RSCI): 776611

Correspondence address: shaf-elena@yandex.ru

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The article was submitted 20.03.2025; approved after reviewing 17.06.2025; accepted for publication 25.06.2025.