

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ PVSYSYSTEM

Солнечная фотоэлектрическая энергия является одним из наиболее существующих и быстро растущих возобновляемых источников энергии, который имеет практическое применение в нескольких областях благодаря своей высокой доступности, огромному потенциалу и экологической совместимости. По сравнению с другими источниками энергии наблюдается значительный рост использования фотоэлектрической энергии в мире. Такое массовое использование фотоэлектрической энергии обусловлено простотой процесса преобразования, поскольку солнечное излучение напрямую преобразуется в электрическую энергию с помощью фотоэлектрических элементов. Кроме того, фотоэлектрические системы производят чистую энергию и не загрязняют окружающую среду, тем самым способствуя борьбе с глобальным потеплением. Фотоэлектрическая энергия требует меньше обслуживания, поскольку из-за отсутствия механических компонентов ее можно легко интегрировать в электрическую сеть. Фотоэлектрические модули предназначены для выработки максимальной мощности при воздействии солнечного излучения. Но на их производительность влияют многие параметры, такие как температура и солнечное излучение. На производительность фотоэлектрических систем также влияют внешние факторы окружающей среды, такие как загрязнение. Для оптимизации производства энергии используются солнечные трекеры MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Целью данного исследования является предложение эффективного метода проектирования и моделирования фотоэлектрической электростанции мощностью 11 МВт, подключенной к национальной сети Нигера, с использованием программного обеспечения PVsyst. *Метод:* выбор типа системы (системы, подключенной к сети), географического расположения места установки с использованием базы данных программного обеспечения. Затем следует ориентация фотоэлектрической системы, выбор технологии фотоэлектрической системы (фотоэлектрические панели, инверторы, трансформаторы и т. д.) и их калибровка, изучение детальных потерь (потери системы, потери в проводах и потери массива) и выполнение команды для моделирования системы. *Результаты:* разработана проектно-имитационная модель фотоэлектрической электростанции мощностью 11 МВт, состоящая из 29120 фотоэлектрических панелей мощностью 385 Вт каждая, 133 трекера MPPT и инвертора мощностью 66 кВт переменного тока каждый и трансформатора среднего напряжения мощностью 11 МВт. Проект был смоделирован, и полученные результаты проанализированы. *Практическая значимость исследования* заключается в том, что полученные результаты уже отправлены в кабинет президента Нигера (департамент энергетики) для проверки и практического внедрения. Проектирование и моделирование фотоэлектрической системы с использованием программного обеспечения PVsyst позволяет инженерам, ученым и исследователям приобрести навыки проектирования и моделирования фотоэлектрических систем.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, инвертор, фотоэлектрическая система, солнечная электростанция, солнечные трекеры MPPT, моделирование PVSystem.

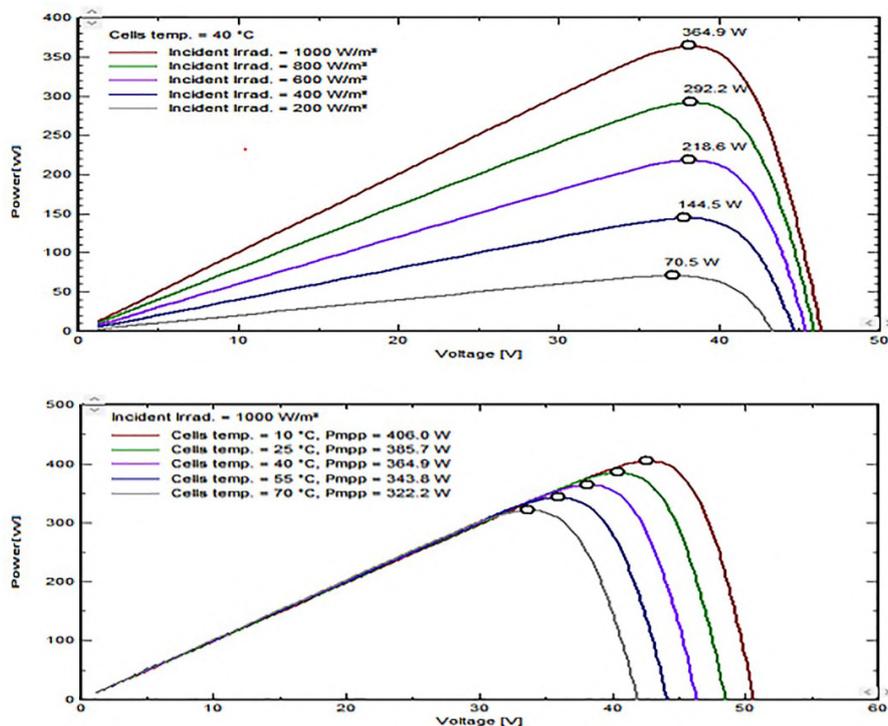


Рис. 1. Характеристики силы–напряжения модуля PV (Photovoltaic) для различных условий солнечного излучения и температуры

Введение. В настоящее время солнечная энергия привлекла внимание всего мира, играет жизненно важную роль и доказала, что является чистой и устойчивой энергией [1–3]. Солнечная энергия в виде солнечного излучения может быть напрямую преобразована в электричество с использованием технологии фотоэлектрических панелей [4–7]. Фотоэлектрические панели состоят из солнечных элементов, изготовленных из полупроводников, которые поглощают солнечное излучение и преобразуют его непосредственно в электричество. Однако исследования показали, что солнечные элементы на основе полупроводников, используемые при производстве фотоэлектрических панелей, имеют эффективность от 15 до 20 % [7, 8]. Для повышения эффективности системы используются такие приложения, как солнечный трекер и контроллер МРРТ (Maximum Power Point Tracking). Солнечные панели при установке обеспечивают максимальную выходную мощность, но существуют факторы, влияющие на снижение этой мощности [9, 10]. Фотоэлектрический элемент характеризуется кривыми мощность–напряжение и напряжение–ток. Для различных значений солнечной радиации и температуры эти характеристики показаны на рис. 1.

На рис. 1 показана зависимость мощности от солнечного излучения и температуры. Эти два параметра — температура и солнечное излучение — влияют на производительность фотоэлектрического модуля. Помимо этих двух параметров, качество солнечной энергии, вырабатываемой фотоэлектрическими устройствами, зависит от гибкости других компонентов глобальной системы и условий окружающей среды [11, 12]. Установка фотоэлектрической системы вызывает различные факторы, которые влекут за собой потери энергии и влияют на конечную передачу. В этой работе факторы классифицируются как потери в массиве (Array losses), потери в проводах (wiring losses) и потери в системе (system losses) [13–16].

Потери в массиве (Array losses). Потери в массиве — это потери, которые влияют на доступную выходную энергию фотоэлектрического генератора относительно номинальной мощности модуля, указанной производителем для стандартных условий. К этим потерям относятся:

Загрязнение (Soiling Losses) — процесс, при котором пыль, грязь и/или органические отходы оседают на поверхности фотоэлектрического генератора. Это оказывает существенное влияние на производство энергии. Одним из наиболее часто используемых измерений для количественной оценки качества грязи, осаждающейся на фотоэлектрическом модуле, является скорость загрязнения (rs). Последняя версия стандарта IEC 61724-1 определяет rs как соотношение между фактической и номинальной электрической мощностью. Коэффициент загрязнения определяется соотношением, как показано в формуле (1) [17]:

$$rs = \frac{Z_{soil}}{Z_{clean}}, \quad (1)$$

где Z_{soil} представляет электрическую мощность в реальных условиях загрязнения; Z_{clean} представляет электрическую мощность в реальных чистых условиях.

Коэффициент тепловых потерь (The thermal loss factor) — относится к потере производительности модуля из-за изменения теплового поля. Коэффициент тепловых потерь используется для определения потерь энергии, которые могут возникнуть из-за разницы температур между номинальной температурой элементов, при которой указана мощность (25 °C) и фактической температурой окружающей среды фотоэлектрических модулей и элементов, которые нагреваются под воздействием падающего солнечного света.

Световая дегерация LID (Ligth — Induced Degradation) — потеря производительности фото-

электрических модулей, которая происходит в самые первые дни воздействия солнца. Зависит от технологии и предоставляется производителем.

Потеря качества модуля (Module quality Loss) — относится к отклонению средней эффективности модуля от производственных условий.

Потери из-за несоответствия (Mismatch loss) — потери, вызванные небольшими различиями в электрических характеристиках установленных модулей.

Потери из-за несоответствия параметров элементов в цепи (String mismatch loss) — относятся к разнице электрических параметров отдельных элементов на уровне цепи. В этом случае несоответствие напряжений электрических сборок имеет важное значение, поскольку они расположены параллельно.

Коэффициент потерь наклона или эффект падения, называемый IAM (Incidence Angle Modifier), — соответствует уменьшению облучения, достигающего поверхности фотоэлектрической ячейки, по сравнению с облучением при нормальном падении.

Потери в проводах (wiring losses). Потери в проводке постоянного тока (DC wiring loss) вызываются сопротивлением, связанным с кабелями и соединениями приборов и фотоэлектрических цепей.

Потери в проводке переменного тока (AC wiring loss) возникают из-за импеданса между проводами и точками подачи, например, между нагрузкой и трансформатором напряжения.

Системные потери (system losses). Недоступность системы (Unavailability of the system).

Недоступность системы можно определить как долю времени, в течение которого система неактивна, то есть не производит энергию из-за технического обслуживания или незапланированных отключений. Это может занять часы и даже дни.

Вспомогательные потери (auxiliary losses). Эти потери представлены вспомогательными устройствами, используемыми для управления системой. Это могут быть вентиляторы, кондиционеры, компьютеры или любое другое потребление энергии, которое необходимо вычест из энергии, производимой фотоэлектрической системой, для подачи в сеть.

Целью этой статьи является предложение использовать программное обеспечение PVsystem для разработки методологии расчета солнечной электростанции мощностью 11 МВт, подключенной к сети. Для более удобного понимания работы данного приложения была взята энергетическая сеть Республики Нигер. Страна Сахеля, Нигер площадью 1 267 000 км² является континентальной страной в самом сердце Западной Африки. Ее территория богата огромными природными ресурсами (уголь, нефть, золото, уран и т. д.), но их добыча слишком мала. В условиях энергетического перехода производство энергии в основном осуществляется на ископаемом топливе, которое выделяет огромное количество парниковых газов. Что касается солнечного потенциала Нигера, то в стране преимущественно солнечно (около 300 дней в году). Солнечная радиация варьируется от 5 до 7 кВтч/м²/день и хорошо распределена по территории страны, с высоким уровнем прямой радиации (более 65 % от общего количества солнечного света). По данным Нигерийской электроэнергетической компании (Nigelec) и Министерства энергетики, конечное потребление электроэнергии в 2020 году составило 1350 ГВтч [18].

В этом потреблении преобладает сектор домашних хозяйств (53,8 %), за ним следуют сектор услуг (26,5 %), промышленный сектор (19,1 %) и гидроэнергетика (0,6 %). После событий 26 июля 2023 года, ознаменовавших приход к власти военных, Нигер подвергся тяжелым экономическим, политическим и энергетическим санкциям, например, прекращению поставок электроэнергии Нигерией. В этой ситуации новые власти решили диверсифицировать производство энергии, отдавая предпочтение возобновляемым источникам энергии, особенно солнечной и гидроэлектроэнергии. В связи с этим главный вопрос, который можно задать, заключается в следующем: будет ли производство солнечной энергии эффективным для поддержки национальной электросети, что и попытались выяснить при помощи программного обеспечения PVsystem.

Критерии выбора региона Ниамей для установки фотоэлектрической электростанции мощностью 11 МВт. Выбор этой мощности обусловлен тем, что выбранный район потребляет больше энергии и имеет самый низкий уровень электрификации, чем другие регионы. Еще одна причина, по данным Министерства энергетики, в 2021 году общая установленная мощность, которая должна потребляться различными производственными единицами в этом районе, составила 147,83 МВт, а располагаемая вырабатываемая мощность — 105,85 МВт, что составляет разницу в 41,98 МВт между располагаемой и установленной мощностью [18]. Затем в июле 2023 года состоится открытие фотоэлектрической электростанции в Гору Банда мощностью 30 МВт. Для восполнения дефицита предусмотрена установка солнечной электростанции мощностью 11 МВт.

Географические координаты региона Ниамей. Ниамей расположен в юго-западной части Нигера между 13°15' и 13°24' южной широты и 2°15' восточной долготы. Перепад высот составляет от 160 до 250 м, а административные границы простираются на 552,27 км², включая примерно 297,46 км² урбанизированной территории. Приблизительная численность населения составляет 1 026 848 жителей в 2012 году и 1 164 680 человек, а плотность составляет 4 564,4 человека на км².

Используется программное обеспечение с базой данных в реальном времени, также известны климатические данные места установки. Данные представлены в табл. 1.

Анализ климатических данных, полученных с помощью программы, показывает, что программа PVsyst дает достаточную информацию о солнечной установке.

Материалы и методы. В данной статье основное внимание уделяется моделированию фотоэлектрической электростанции мощностью 11 МВт, подключенной к сети. Для этой работы используется пробная версия 7.4.5 программного обеспечения PVsystem. Выбор программного обеспечения основан на его производительности и эффективности моделирования фотоэлектрических установок. Согласно различным исследованиям, оценивающим точность моделирования программного обеспечения PVsyst, было выявлено, что это программное обеспечение дает ошибку в результатах примерно 3,37 % [19-22]. Структура программного обеспечения PVsyst показана на рис. 2.

Входные данные (Input data). Географические параметры сайта (программа использует базу данных Métronorme (Meteonorm, Online), содержащую

Климатические данные, полученные с помощью программного обеспечения PVsyst

| | GlobHor kWh/m ² | DiffHor kWh/m ² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | EArray kWh | E_Grid kWh | PR ratio |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|-------------|
| Janvier | 150.9 | 72.46 | 24.47 | 170.8 | 151.0 | 1355092 | 1319587 | 0.689 |
| Février | 153.2 | 80.31 | 28.01 | 165.8 | 146.7 | 1284619 | 1250476 | 0.673 |
| Mars | 185.9 | 97.85 | 32.25 | 192.1 | 169.9 | 1456881 | 1418943 | 0.659 |
| Avril | 195.2 | 95.71 | 34.72 | 192.5 | 170.0 | 1449541 | 1412841 | 0.655 |
| Mai | 198.0 | 97.01 | 35.05 | 187.0 | 164.5 | 1419905 | 1384340 | 0.660 |
| Juin | 191.3 | 91.48 | 31.90 | 177.2 | 155.8 | 1372816 | 1338692 | 0.674 |
| Juillet | 200.0 | 89.59 | 29.77 | 186.3 | 163.6 | 1456860 | 1420617 | 0.680 |
| Août | 183.2 | 90.19 | 28.19 | 177.2 | 155.8 | 1396937 | 1132402 | 0.570 |
| Septembre | 182.1 | 83.77 | 29.29 | 185.3 | 163.5 | 1450080 | 1412910 | 0.680 |
| Octobre | 178.4 | 83.06 | 31.70 | 191.1 | 168.9 | 1477239 | 1302148 | 0.608 |
| Novembre | 159.5 | 65.02 | 29.00 | 181.2 | 160.1 | 1408515 | 1373102 | 0.676 |
| Décembre | 147.7 | 66.46 | 25.49 | 170.2 | 150.5 | 1346787 | 1312056 | 0.688 |
| Année | 2125.6 | 1012.91 | 29.99 | 2176.7 | 1920.4 | 16875271 | 16078115 | 0.659 |

Légendes

GlobHor Irradiation globale horizontale

DiffHor Irradiation diffuse horizontale

T_Amb Température ambiante

GlobInc Global incident plan capteurs

GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages

EArray Energie effective sortie champ

E_Grid Energie injectée dans le réseau

PR Indice de performance

Легенды (Legends):

GlobHor: Горизонтальная глобальная иррадиация

DiffHor: Диффузная горизонтальная иррадиация

T_Amb: Температура окружающей среды

GlobInc: Глобальный план датчиков инцидентов

GlobEff: Глобальная эффективная корректировка для IAM и затенения (Effective Global Corrected for IAM and shadings)

EArray: Эффективная энергия на выходе поля

E_Grid: Энергия, поступающая в сеть (Energy injected into the network)

PR: Коэффициент производительности (Performance Ratio)



Рис. 2. Структура PVsyst [19]

метеорологические данные практически из каждой точки планеты. Моделирование, выполняемое PVsyst, осуществляется ежечасно, а данные, предоставляемые Meteonorm, — ежемесячно[23].

Ориентация: в этой части указывается угол наклона и азимут согласно географическому положению участка. Также существует возможность установки солнечного трекера с одной или двумя осями в зависимости от необходимости.

Система: эта часть PVsyst позволяет настраивать и создавать компоненты базы данных. Здесь расположены, например, фотоэлектрические панели и инверторы. Подробные потери; к этим потерям относятся, тепловые потери, потери, зависящие от качества модуля; потери от засорения и др. Система использует набор предопределенных значений для этих потерь и может быть изменена.

Таблица 2

Параметры модуля и инвертора

| Photovoltaic Panel | | Inverter Specifications | |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Panel model | TSM-385 DE15H(II) | Inverter model | Solar Inverter M80H (400VAC) |
| Panel power | 385 Wp | Unite power | 66 KWac |
| Imp | 9,610 A | Operating voltage | 200 – 800 V |
| Vmpp | 40,10 V | Maximum AC Power | 66 Kva |
| Voc | 48,50 V | Main voltage | 400 V |
| Isc | 10,03 A | Absolute Maximum PV voltage | 1000 V |

Таблица 3

Параметры подсистемы

| | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Количество панелей последовательно | 16 |
| Количество панелей параллельно | 130 |
| Количество фотоэлектрических модулей | 2080 |
| Общее количество инверторов | 19 |
| Общая номинальная мощность | 4227 м ² |

Таблица 4

Общие настройки системы

| Информация о системе, подключенной к электрической сети | |
|---|-------------------------|
| Ориентация фотоэлектрического поля | Фиксированная плоскость |
| Наклон/Азимут (Tilt/Azimuth) | 15/0° |
| Количество фотоэлектрических модулей | 29120 |
| Общая номинальная мощность модулей | 11,21 МВтп |
| Общее количество инверторов | 133 |
| Общая номинальная мощность инверторов | 8778 КВтас |
| Предел мощности сети (Grid power limit) | 11 МВтп |
| Общая площадь | 59175 м ² |
| Внешний трансформатор среднего напряжения | 11,04 МВт |

Пиковая мощность Втп (Wp) — мощность, вырабатываемая фотоэлектрической панелью при стандартных условиях: $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_r = 1000\text{ Вт/м}^2$.

Таблица 5

Основные результаты

| Производство информационных систем | |
|---|-------------------------------|
| Системное производство (System production) | 16096 МВтч/год |
| Конкретное производство (specific production) | 1436 кВтч/кВтп/год |
| Нормализованное производство (normalized production) | 3,93 кВтч/кВтп/день |
| Потери массива (Array losses) | 1,84 кВтч/кВтп/день |
| Системные потери (System losses) | 0,19 кВтч/кВтп/день |
| Коэффициент производительности (Performance Ratio) | 0,66 |
| Экономическая оценка | |
| Общая стоимость установки (Total installation cost) | 5 744 430 Евро |
| Сокращение выбросов CO ₂ (Saved CO ₂ emissions) | 3800,220 тонн CO ₂ |

Экономическая оценка: эта часть включает все финансовые параметры проекта, а именно инвестиции, цену на электроэнергию, углеродный баланс и др [24].

Моделирование PVsyst (PVsyst run simulation).

После правильного ввода всех необходимых данных запускается моделирование, а полученные результаты отображаются и даже экспортируются.

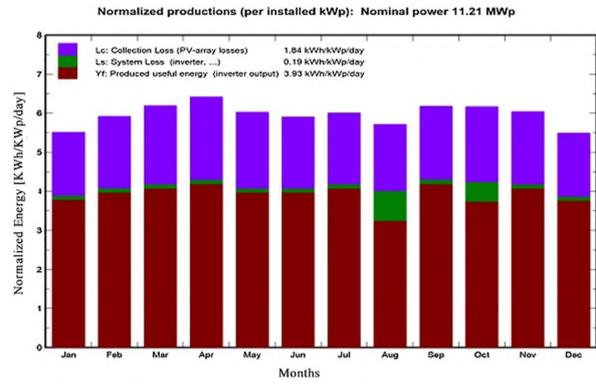


Рис. 3. Стандартизированное производство

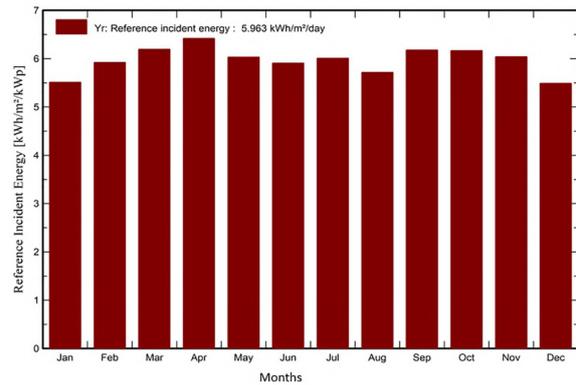


Рис. 4. Энергия падения

Выходные данные (Output data). На выходе получается много информации о системе и вырабатываемой энергии. Такие результаты, как параметры моделирования, производство энергии, соотношение удельной производительности и производительности, специальные графики производительности моделирования.

Программное обеспечение широко используется в частном секторе и в академических кругах.

При моделировании были использованы следующие ограничения: не определена 3D сцена, свободный горизонт, затенения (shading) и собственное потребление (self-consumption), все вышеперечисленное не учитывалось.

Для реализации проекта создается подсистема мощностью 800 кВт одной сборки. Эта подсистема, занимающая площадь 4223 м², состоит из фотоэлектрических модулей марки Trina Solar мощностью 385 Вт и инверторов марки Delta Energy мощностью 66 кВт. Чтобы получить мощность 11 МВт с учетом различных потерь, подсистему умножают на 14. Параметры модуля и инвертора приведены в табл. 2, параметры подсистемы — в табл. 3 и общие данные системы представлены в табл. 4.

Результаты и обсуждение. После моделирования основные результаты системы группируются в таблицу, как показано в табл. 5, а остальные результаты — в виде графиков.

В табл. 5 суммирован баланс производства энергии системой, различные потери при производстве энергии системой, общая стоимость установки системы и количество предотвращенных выбросов парниковых газов CO₂.

Анализ рис. 3 показывает следующие результаты:

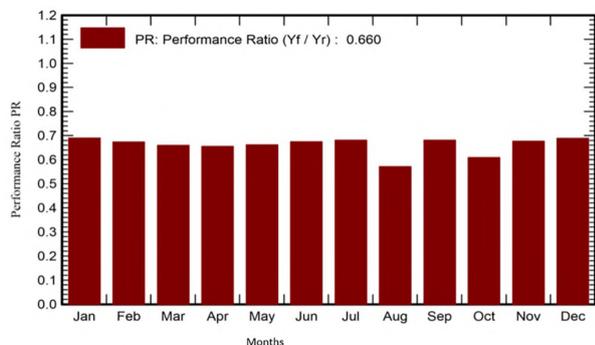


Рис. 5. Коэффициент производительности

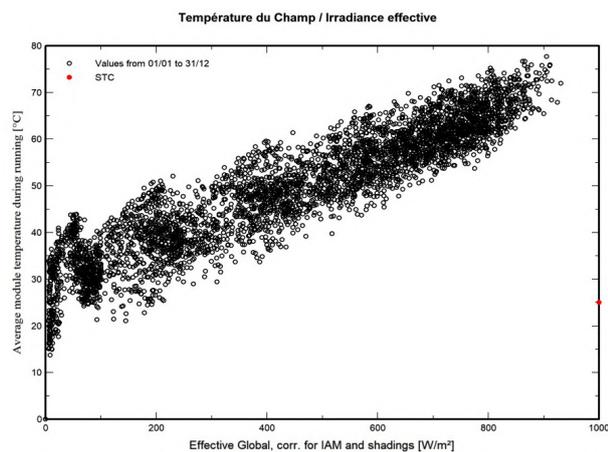


Рис. 6. Температура фотоэлектрического поля

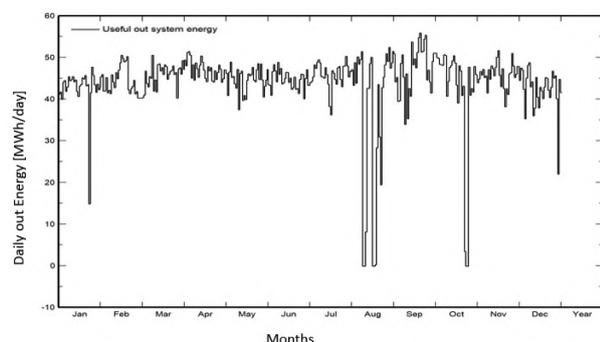


Рис. 7. Ежедневное количество энергии на выходе системы

— производство полезной энергии на выходе инвертора составляет 3,93 кВтч/кВтп/день;

— потери инверторной системы составляют порядка 0,19 кВтч/кВтп/день;

— потери от фотоэлектрических панелей составляют порядка 1,84 кВтч/кВтп/день.

Все эти потери могут быть связаны либо с неблагоприятным солнечным светом, который не позволяет фотоэлектрическим панелям улавливать максимальное солнечное излучение, либо с плохим подключением инверторов, либо с какими-либо другими потерями.

Анализ рис. 4 показывает, что падение энергии очень значительно в апреле, достигая 6,5 кВтч/м²/день, тогда как в январе и декабре падение энергии составляет 5,5 кВтч/м²/день. Это объясняется тем, что в Нигере в декабре и январе начинаются холо-

да, появляется облачность, поэтому солнечный свет не очень эффективен.

Анализ рис. 5 показывает, что коэффициент производительности практически постоянен в течение года, за исключением августа. Это объясняется тем, что в августе небо полностью покрыто облаками, поэтому солнечной радиации недостаточно.

Анализ рис. 6 показывает, что средняя температура модуля является функцией глобального эффективного излучения на поверхности Земли.

Анализ рис. 7 показывает ежедневное производство энергии в течение года. Наблюдается низкое энерговыделение в январе и декабре, что связано с рассеянием прямой солнечной радиации пылевой дымкой.

Что касается очень низкого производства энергии, то он наблюдается в период с июля по август, сентябрь и октябрь, это связано с сезоном дождей, в результате чего небо полностью закрывается облаками.

Заключение. В этой статье описывается проектирование и моделирование фотоэлектрической установки мощностью 11 МВт, подключенной к национальной сети, выполненное с использованием программного обеспечения PVsyst, с учетом факторов, влияющих на эффективность производства этой фотоэлектрической системы. В последние годы были проведены многочисленные исследования этих факторов, и результаты показали, как эти факторы напрямую влияют на производительность фотоэлектрических систем. Этот проект направлен на удовлетворение растущего спроса населения на электроэнергию. Реализация этого проекта увеличит национальное производство, снизит себестоимость производства энергии, будет способствовать социально-экономическому развитию региона, а также будет способствовать снижению выбросов CO₂. Использование программного обеспечения для проектирования и моделирования PVsystem позволяет оптимизировать производство фотоэлектрической солнечной энергии.

Библиографические список

- Обухов С. Г., Плотников И. А. Имитационная модель режимов работы автономной фотоэлектрической станции с учетом реальных условий эксплуатации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 6. С. 38–51. EDN: ZCIDNX.
- Atelier d'échange sur les meilleurs pratiques en exploitation et maintenances des centrales Photovoltaïque en Tunisie. 25 février 2020. URL: [https://energypedia.info/wiki/Atelier_d'exchange_sur_les_meilleures_pratiques_en_exploitation_et_maintenance_\(O%26M\)_pour_les_centrales_PV_en_Tunisie](https://energypedia.info/wiki/Atelier_d'exchange_sur_les_meilleures_pratiques_en_exploitation_et_maintenance_(O%26M)_pour_les_centrales_PV_en_Tunisie) (дата обращения: 12.03.2024).
- Bessa J. G., Micheli L., Almonacid F., Fernandez E. F. Monitoring photovoltaic soiling: assessment, challenges, and perspectives of current and potential strategies // iScience. 2021. Vol. 24 (3). 102165. DOI: 10.1016/j.isci.2021.102165.
- Longares J. M., Jimenew A. G., Polanco N. G. Multiphysics simulation of bifacial photovoltaic modules and software comparaison // Solar Energy. 2023. Vol. 257. P. 155–163. DOI: 10.1016/j.solener.2023.04.005.
- Subhi A. Al., Mossad M. I., Farrag T. A. PV parameters estimation using optimized deep neural networks // Sustainable computing: Informatics and System. 2024. Vol. 41. P. 100960. DOI: 10.1016/j.suscom.2024.100960.
- Alsumiri M., Khashab H isham El. Solar Energy Technology choice Development // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 64 (6). 02003. DOI: 10.1051/e3sconf/20186402003.

7. Ministère du Pétrole, de l'Energie et des Energies Renouvelables. Système d'Information Energétique du Niger Rapport 2021.
8. Mendalek N., Haddad K. Al. Photovoltaic System Modeling and Simulation // 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2017. P. 1522–1527. DOI: 10.1109/ICIT.2017.7915592.
9. Dehghanzadeh A., Farahani G., Vahedi H., Haddad K. Al. Explicit double-exponential modeling methods for photovoltaic cells // 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2017. P. 423–428. DOI: 10.1109/ICIT.2017.7913268.
10. Muhtar A., Mustika I. W., Suharyanto. Comparison of ANN-BP and ANN-PSO as Learning Algorithm to track MPP in PV System // 2017 7th International Annual Engineering Seminar (InAES). 2017. P. 1–6. DOI: 10.1109/INAES.2017.8068573.
11. Slouma S., Mustapha S. S., Slama-Belkhdja I., Machmoum M. Frequency Separation Control of Energy Management System for building // 2016 7th International Renewable Energy Congress (IREC). 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/irec.2016.7478868.
12. Kessaissi F. Z., Zegaoui A., Hadji A. A. [et al.]. Comparison of two PV modules Technologie Using Analytical and Experimental Methods // Energy Procedia. Vol. 74. P. 389–397. DOI:10.1016/j.egypro.2015.07.635.
13. Salame Ch., Aillerie M., Papageorgas P. The international Conference on Technology and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability // Energy Procedia. 2014. Vol. 50. P. 1–2. DOI: 10.1016/S1876-6102(14)01202-8.
14. Sehirli E. Comparison of the input filter effect to PV panel by SEPIC MPPT Converter // Energy Report. 2023. Vol. 9. P. 34–50. DOI: 10.1016/j.egypr.2023.05.238.
15. Lu D., Zhou T., Fakham H., Frabcois B. Disign of a power management system for an active PV station including various storage technologies // 2008 IEEE 23th International Power Electronics and Motion Control Conference. 2008. P. 1–8. DOI: 10.1109/EPEPEMC.2008.4635583.
16. Abass A. Z., Pavlyuchenko D. A., Haider A. [et al.]. Economic Feasibility Study of a Hybrid Power Station Between Solar Panels and Wind Turbine with The National Grid in Al-Hayy City in the Central of Iraq // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1184. DOI: 10.1088/1757-899X/1184/1/012001.
17. Azeez R. A., Abdul-Hussein M. K., Mahdi M. S., AlRikabi H. T. S. Design a system for an approved video copyright over cloud based on biometric iris and random walk generator using watermark technique // Periodicals of Engineering Natural Sciences. 2021. Vol. 10, № 1. P. 178–187. DOI: 10.13140/RG.2.2.12100.50566.
18. Majhool M. H., Rikabi H., Mansour R. Enhancing the Efficiency of Solar Cell Based on the Internet of Things Applications // Wasit Journal of Engineering Sciences. 2022. Vol. 10, № 1. DOI: 10.31185/ejuow.Vol10.Iss1.229.
19. Salim H. T., Jasim N. A. Design and Implementation of Smart City Applications Based on the Internet of Things // International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM). 2021. Vol. 15, № 13. P. 4–15. DOI: 10.3991/ijim.v15i13.22331.
20. Majhool M. H., Alrikabi H. T. S., Farhan M. S. Using Internet of Things application for Monitoring Photo-Voltaic Panel Based on Ask Sensors Cloud // Design Engineering. 2021. Vol. 10, № 1. P. 3884–3896. DOI: 10.17762/de.vi.5340.
21. Al-Rikabi H. An assessment of electricity sector reforms in Iraq // Al-Bayan Center for Planning Studies. 2017. URL: <https://www.bayancenter.org/en/2017/09/1264/#> (дата обращения: 03.04.2024).
22. Brinckerhoff P. Iraq Electricity Master Plan: 2010 to 2030. Final Report. Baghdad: Parsons Brinckerhoff, 2010.
23. 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.
24. B. Co. INES – Integrated National Energy Strategy. 2012.

КОСАРЕВА-ВОЛОДЬКО Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры энергетике 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 энергетике и энергоэффективности горной промышленности Университета МИСИС, г. Москва.

ORCID: 0009-0001-6656-7961

Адрес для переписки: halilousani4@gmail.com

Финансирование: Исследования не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в отношении данной статьи.

Вклад автора: Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи.

Для цитирования

Косарева-Володько О. В., Алилу Сани Маман Кабиру. 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.

Статья поступила в редакцию 08.05.2024 г.

© О. В. Косарева-Володько, Алилу Сани Маман Кабиру

DESIGN AND SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING PVSYSYSTEM SOFTWARE

Photovoltaic energy system is one of the most popular and quickly expanding renewable energy sources because of its great availability, enormous potential, and environmental sustainability. In addition, photovoltaic systems produce clean energy and not pollutant thus contributing to the fight against global warming. Photovoltaic system requires less maintenance given the absence of mechanical components, and it can be also integrated to the electrical grid.

The objective of this research is proposed an effective method for designing and Modeling of an 11 MWp photovoltaic plant capacity connected to the national grid of Niger by using software PVsyst.

Method: choice of the type of system (system connected to the network), the geographic location of the installation site using the software database. Then comes the orientation of the photovoltaic system, the choice of the technology of the photovoltaic system (photovoltaic panels, inverters, transformers... etc) and their calibrations, Study of detailed losses (system losses, wiring losses and array losses) and execution of the command to simulate the system.

Results: design and simulation model of an 11MWp photovoltaic power plant was developed composed of 29120 photovoltaic panels with a power of 385 Wp each, 133 MPPT inverters with a power of 66 KWac each and a Medium Voltage transformer with a capacity of 11 MW. The project has been simulated and results obtained has been analyzed.

Practical significance of the research: Design and Simulation of photovoltaic system using the software allows the engineers, academics and researchers to acquire skills in the design and simulation of photovoltaic systems.

Keywords: photovoltaic module, inverter, photovoltaic system, solar power plant, MPPT solar trackers, PVsystem modeling.

References

1. Obukhov S. G., Plotnikov I. A. Imitatsionnaya model' rezhimov raboty avtonomnoy fotoelektricheskoy stantsii s uchetom real'nykh usloviy ekspluatatsii [Simulation model of operation of autonomous photovoltaic plant under actual operating conditions] // Izvestiya Tomskogo Politekhniceskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineerin.* 2017. Vol. 328, no. 6. P. 38–51. EDN: ZCIDNX. (In Russ).

2. Atelier d'échange sur les meilleures pratiques en exploitation et maintenances des centrales Photovoltaïque en Tunisie. 25 février 2020 [Workshop on best practice in the operation and maintenance of photovoltaic power plants in Tunisia. 25 February 2020]. URL: [https://energypedia.info/wiki/Atelier_d'échange_sur_les_meilleures_pratiques_en_exploitation_et_maintenance_\(O%26M\)_pour_les_centrales_PV_en_Tunisie](https://energypedia.info/wiki/Atelier_d'échange_sur_les_meilleures_pratiques_en_exploitation_et_maintenance_(O%26M)_pour_les_centrales_PV_en_Tunisie) (accessed: 12.03.2024). (In Fr.).

3. Bessa J. G., Micheli L., Almonacid F., Fernandez E. F. Monitoring photovoltaic soiling: assessment, challenges, and perspectives of current and potential strategies // *iScience.* 2021. Vol. 24 (3). 102165. DOI: 10.1016/j.isci.2021.102165. (In Engl.).

4. Longares J. M., Jimenew A. G., Polanco N. G. Multiphysics simulation of bifacial photovoltaic modules and software comparaiso // *Solar Energy.* 2023. Vol. 257. P. 155–163. DOI: 10.1016/j.solener.2023.04.005. (In Engl.).

5. Subhi A. Al., Mossad M. I., Farrag T. A. PV parameters estimation using optimized deep neural networks // *Sustainable computing: Informatics and System.* 2024. Vol. 41. P. 100960. DOI: 10.1016/j.suscom.2024.100960. (In Engl.).

6. Alsumiri M., Khashab H isham El. Solar Energy Technology choice Development // *E3S Web of Conferences.* 2018. Vol. 64 (6). 02003. DOI: 10.1051/e3sconf/20186402003. (In Engl.).

7. Ministère du Pétrole, de l'Energie et des Energies Renouvelables. Système d'Information Energétique du Niger Rapport 2021 [Ministry of Petroleum, Energy and Renewable Energies. Niger Energy Information System Report 2021]. (In Fr.).

8. Mendalek N., Haddad K. Al. Photovoltaic System Modeling and Simulation // 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2017. P. 1522–1527. DOI: 10.1109/ICIT.2017.7915592. (In Engl.).

9. Dehghanzadeh A., Farahani G., Vahedi H., Haddad K. Al. Explicit double-exponential modeling methods for photovoltaic cells // 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2017. P. 423–428. DOI: 10.1109/ICIT.2017.7913268. (In Engl.).

10. Muhtar A., Mustika I. W., Suharyanto. Comparison of ANN-BP and ANN-PSO as Learning Algorithm to track MPP in PV System // 2017 7th International Annual Engineering Seminar (InAES). 2017. P. 1–6. DOI: 10.1109/INAES.2017.8068573. (In Engl.).

11. Slouma S., Mustapha S. S., Slama-Belkhdja I., Machmoum M. Frequency Separation Control of Energy Management System for building // 2016 7th International Renewable Energy Congress (IREC). 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/irec.2016.7478868. (In Engl.).
12. Kessaissi F. Z., Zegaoui A., Hadji A. A. [et al.]. Comparaison of two PV modules Technologie Using Analytical and Experimental Methods // Energy Procedia. Vol. 74. P. 389–397. DOI:10.1016/j.egypro.2015.07.635. (In Engl.).
13. Salame Ch., Aillerie M., Papageorgas P. The international Conference on Technology and Materiels for Renewable Energy, Environement and Sustainability // Energy Procedia. 2014. Vol. 50. P. 1–2. DOI: 10.1016/S1876-6102(14)01202-8. (In Engl.).
14. Sehirli E. Comparison of the input filter effect to PV panel by SEPIC MPPT Converter // Energy Repport. 2023. Vol. 9. P. 34–50. DOI: 10.1016/j.egy.2023.05.238. (In Engl.).
15. Lu D., Zhou T., Fakham H., Frabcois B. Disign of a power management system for an active PV station including various storage technologies // 2008 IEEE 23th International Power Electronics and Motion Control Conference. 2008. P. 1–8. DOI: 10.1109/EPEPMC.2008.4635583. (In Engl.).
16. Abass A. Z., Pavlyuchenko D. A., Haider A. [et al.]. Economic Feasibility Study of a Hybrid Power Station Between Solar Panels and Wind Turbine with The National Grid in Al- Hayy City in the Central of Iraq // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1184. DOI: 10.1088/1757-899X/1184/1/012001. (In Engl.).
17. Azeez R. A., Abdul-Hussein M. K., Mahdi M. S., ALRikabi H. T. S. Design a system for an approved video copyright over cloud based on biometric iris and random walk generator using watermark technique // Periodicals of Engineering Natural Sciences. 2021. Vol. 10, no. 1. P. 178–187. DOI: 10.13140/RG.2.2.12100.50566. (In Engl.).
18. Majhool M. H., Rikabi H., Mansour R. Enhancing the Efficiency of Solar Cell Based on the Internet of Things Applications // Wasit Journal of Engineering Sciences. 2022. Vol. 10, no. 1. DOI: 10.31185/ejuow.Vol10.Iss1.229. (In Engl.).
19. Salim H. T., Jasim N. A. Design and Implementation of Smart City Applications Based on the Internet of Things // International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM). 2021. Vol. 15, no. 13. P. 4–15. DOI: 10.3991/ijim.v15i13.22331. (In Engl.).
20. Majhool M. H., Alrikabi H. T. S., Farhan M. S. Using Internet of Things application for Monitoring Photo-Voltaic Panel Based on Ask Sensors Cloud // Design Engineering. 2021. Vol. 10, no. 1. P. 3884–3896. DOI: 10.17762/de.vi.5340. (In Engl.).
21. Al-Rikabi H. An assessment of electricity sector reforms in Iraq // Al-Bayan Center for Planning Studies. 2017. URL: <https://www.bayancenter.org/en/2017/09/1264/#> (accessed: 03.04.2024). (In Engl.).
22. Brinckerhoff P. Iraq Electricity Master Plan: 2010 to 2030. Final Report. Baghdad: Parsons Brinckerhoff, 2010. (In Engl.).
23. 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. (In Engl.).
24. B. Co. INES – Integrated National Energy Strategy. 2012. (In Engl.).

KOSAREVA-VOLODKO Olga Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of 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, Graduate Student of 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

For citations

Kosareva-Volodko O. V., Alilu Sani Maman Kabiru. Design and simulation of photovoltaic systems using PVsystem software // Omsk Scientific Bulletin. 2024. No. 4 (192). P. 91–99. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-192-91-99.

Received May 08, 2024.

© O. V. Kosareva-Volodko, Alilu Sani Maman Kabiru