

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 620.92

DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91

Использование гибридных ветро-солнечных систем для энергоснабжения города Аль-Наджаф в Республике Ирак

Л. М. Абдали, аспирант, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

М. Н. Аль-Малики, аспирант, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

К. А. Али, аспирант, Институт энергетики Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

Н. В. Коровкин, доктор технических наук, профессор, Институт энергетики Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

В. В. Кувшинов, кандидат технических наук, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

С. И. Соломенникова, кандидат технических наук, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

Приводятся результаты исследования комбинированной ветро-фотоэлектрической установки для использования в энергетике Республики Ирак. Представленная гибридная система предлагается для обеспечения коммунальных потребителей на территории Ирака и для его энергетического сектора. Потребители Ирака ощущают постоянный дефицит поставок электричества, и предложенное решение совместной генерации энергии ветро-солнечными установками поможет решить эту проблему. В представленных исследованиях авторы показывают суммарное увеличение эффективности работы мини-энергокомплекса за счет комбинированной выработки электрической энергии путем преобразования ветрового потока и солнечной радиации. Данная работа посвящена анализу и моделированию небольшой автономной гибридной ветро-фотоэнергетической системы. Представлено моделирование работы ветроэлектрической установки. При исследовании принимаются во внимание такие параметры, как угол наклона, диаметр ротора, скорость ветра и др. Моделирование фотоэлектрической установки проводится при номинальных условиях, таких как температура кремниевой ячейки, солнечная инсоляция и др. Компьютерная программа MATLAB использовалась для решения математической модели малых горизонтальных осей ветровых турбин и фотоэлектрических систем. Экспериментальное исследование было проведено с использованием установок небольшой мощности. Результаты показывают, что при использовании гибридных ветро-солнечных систем для обеспечения энергетического комплекса на территории Ирака суммарная выработка гибридной установки значительно возрастает. Причем генерация электрической энергии ветровыми и солнечными установками в разные месяцы года различна. То есть в летние месяцы работают в основном фотоэлектрические батареи, а в зимние месяцы основной вклад в генерацию дают ветротурбины. В результате совместная работа ветровых и солнечных установок по выработке электрической энергии способствует установлению более равномерной генерации в течение года.

Ключевые слова: Matlab, энергетический комплекс, ветроэнергетика, солнечная энергетика, гибридная ветро-фотоэлектрическая система.

Введение

Энергия необходима нашему обществу для обеспечения качества жизни и поддержки всех других элементов экономики. Со временем все больше увеличивается

эскалация затрат и экологических проблем, связанных с традиционной электрической энергией. Многие сообщества по всему миру, в котором мы живем, развили большой интерес к электроэнергетике. Этот интерес был вызван

относительной легкостью, с которой электричество может быть произведено, распределено и использовано, а также большим разнообразием его применений. Можно сколько угодно спорить о том, следует ли позволять потреблению электроэнергии бесконтрольно увеличиваться, но мировые тенденции заключаются в том, что спрос на эту форму энергии постоянно растет [1]. Для удовлетворения этого спроса необходимо увеличивать мировые мощности по выработке электроэнергии. В настоящее время почти вся генерация электрической энергии происходит на электростанциях, которые используют уголь, нефть, газ и расщепляющийся ядерный материал в качестве основного источника топлива; в меньших количествах для генерации используют энергию водного потока, и небольшой процент мировой электроэнергетики использует энергию ветрового потока или преобразует поток солнечной радиации.

Существуют проблемы, стоящие перед дальнейшим развитием методов генерации на основе любого из обычных видов топлива. Производство гидроэлектроэнергии ограничено географически подходящими районами, а запасы угля, хотя в настоящее время имеются в изобилии, не являются возобновляемыми. Широко освещались возможные опасности ядерной энергетики, особенно связанные с хранением и военным использованием ядерных отходов. Для достижения этого, а также для помощи в управлении существующими ресурсами ископаемого топлива важно, чтобы всё большая часть будущих исследований и разработок в области электроэнергетики была связана с так называемыми нетрадиционными методами [2]. Генерация ветровой и солнечной энергии является очевидным вариантом для будущего производства электроэнергии. Помимо того, что они бесплатны, они свободны от периодических затрат. Они также предлагают решения по электроснабжению отдаленных районов. В последние несколько лет большой интерес вызывает гибридная модель ветровой и солнечной энергии с надлежащими системами хранения. В данном исследовании предложена разработанная авторами гибридная модель солнечно-ветровой энергоустановки с использованием батареи. Схема моделирования включает все реалистичные компоненты системы [3–5].

Гибридная система может быть реализована с использованием двух или более различных источников энергии. Есть много примеров гибридных энергетических систем, которые были по-

строены из ветровой/солнечной, ветровой/аккумуляторной, солнечной/аккумуляторной и других конфигураций. Комбинация возобновляемой гибридной системы с аккумуляторными батареями в качестве системы хранения используется для увеличения продолжительности энергоснабжения за счет оптимального использования доступного возобновляемого источника энергии. Для достижения более высокой надежности по сравнению с отдельными источниками энергии представлена электрическая генерация гибридной солнечно-ветровой энергетической системы в Ираке. В качестве возобновляемого ресурса системы производства электроэнергии предложена гибридная система.

Предлагаемая система была смоделирована с использованием программы MATLAB, в которой входными параметрами были метрологические данные для выбранных размеров фотоэлектрических и ветровых турбин [6]. Представленная гибридная ветро-фотоэлектрическая система использует возобновляемые источники энергии (солнечную и ветровую) для производства электроэнергии. Управление системой в основном опирается на микроконтроллер. Это обеспечивает оптимальное использование ресурсов и, следовательно, повышает эффективность по сравнению с их индивидуальным способом генерации [7].

На рисунке 1 [8] показано, что разрыв между требуемой мощностью нагрузки и производительностью генерирующего оборудования начал уменьшаться с увеличением выработки электроэнергии в энергосети Ирака (далее по тексту использованы рисунки из этой работы). Хотя этот разрыв сокращался в период с 2010 по 2014 гг., но после 2014 г. он увеличился и достиг своего пика в 2017 г. с другим соотношением между установленной энергией и требуемой энергией, которая составляла 5663 МВт. Потребление электроэнергии стало увеличиваться, когда Министерство энергетики Ирака начало электрифицировать освобожденные районы, несмотря на отсутствие в этих районах электростанций из-за террористических акций. Однако с вводом генерирующих установок, инвестиционной генерации, ЛЭП и станций эта разница уменьшилась до 4037 МВт в 2021 г.

Система, которая объединяет различные источники энергии, называется комбинированной, или гибридной. Такая система не является новой концепцией, скорее, она получает все больше внимания в течение последних двух десятилетий со стороны многих исследователей [9].

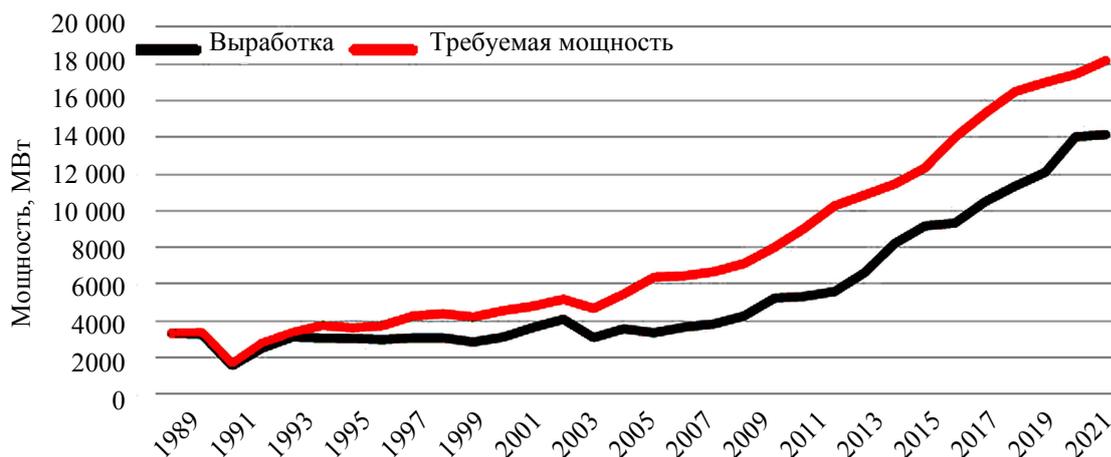


Рис. 1. Пиковый спрос и максимальное энергоснабжение от сети, 2016–2021 гг.

Fig. 1. Peak demand and maximum power supply from the network, 2016–2021 гг.

В представленной работе рассматриваются вопросы использования возобновляемых энергетических ресурсов в энергетических отраслях Ирака. Основное внимание уделяется использованию нетрадиционных источников энергии, таких как ветровые и солнечные установки. В качестве одной из потенциальных систем возобновляемой энергии предлагается и моделируется гибридная ветро-солнечная система для иракского города Аль-Наджаф. Для проведения исследований работы гибридного ветро-солнечного комплекса требуется четко знать о ветровом потенциале и солнечной инсоляции представленного региона.

Цель исследования – анализ и моделирование небольшой автономной гибридной ветро-фотоэнергетической системы для территории иракского города Аль-Наджаф.

Гибридные электростанции могут быть использованы для сокращения дефицита энергии. Часть энергетических потребностей некоторых регионов Ирака может быть решена за счет использования солнечного и ветрового потенциала, особенно в южных районах страны с высоким потенциалом солнечной энергии и скорости ветра, а также в сельских районах, которые далеки от традиционных источников генерации электроэнергии.

Особенности климата в Ираке

Представим климатические характеристики территории Ирака [10, 11].

Ирак расположен на юго-западе Азии между $29^{\circ}5'$ и $37^{\circ}22'$ северной широты и $38^{\circ}45'$ и $48^{\circ}45'$ восточной долготы.

Опасность представляют пыльные бури, особенно весной и осенью, когда дуют северные ветра. Как показано на рисунках 2 и 3, пиковая фактическая яркость Солнца составляет 11,4 ч/сут в июне, а самая низкая – 6,3 ч/сут в январе [12, 13].

Впоследствии фокус направления исследований сместился в сторону поиска возможных путей повышения эффективности использования солнечной радиации для производства электроэнергии [14]. Жизнеспособность данных о солнечном излучении жизненно важна для экономического использования солнечной энергии. Измерение данных о потоке солнечной радиации во всех районах Ирака имеет важное значение для оценки преимуществ использования солнечной энергии в Ираке [15].

Материалы и методы исследования

В ходе выполнения работы проведен анализ климатических особенностей города Аль-Наджаф на юге Ирак. В работе были использованы климатические данные для предлагаемого места, которые получены из характеристик поверхностной метеорологии и солнечной энергии (SSE). Для анализа выработки гибридной ветро-солнечной установки воспользуемся данными среднемесячной солнечной радиации и скоростью ветра, приведенными в таблице 1 для выбранного района. Цель исследования заключалась в изучение возможностей использования гибридных ветро-солнечных систем для снижения дефицита электроэнергии в Ираке. Для достижения поставленных целей при помощи программы Matlab было проведено моделирование гибридных систем [16].

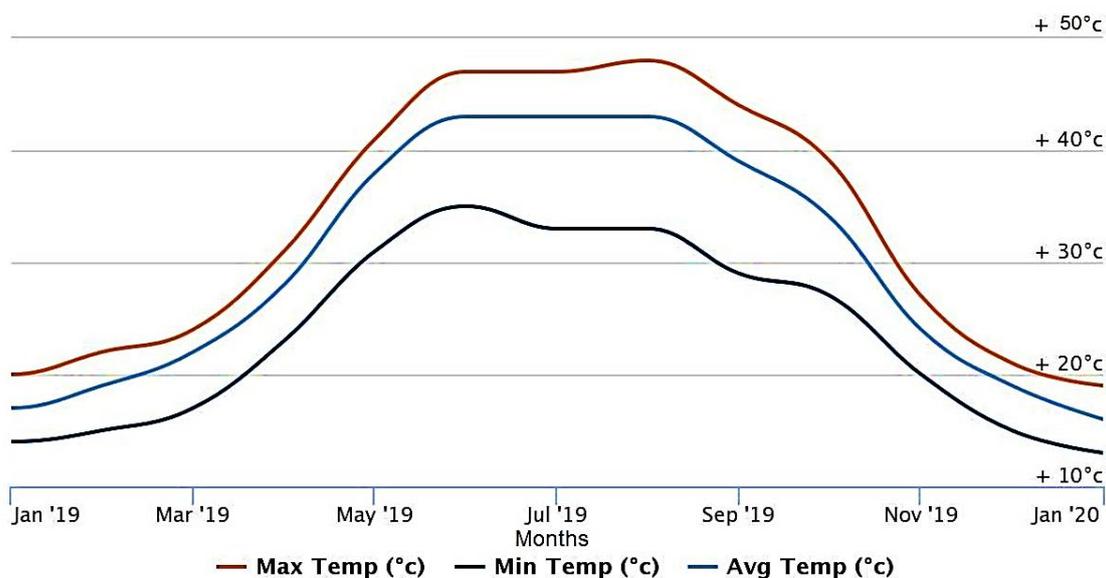


Рис. 2. Максимальная, минимальная и средняя температура в Ираке в течение года, °C
 Fig. 2. Maximum, minimum and average temperature in Iraq during the year °C

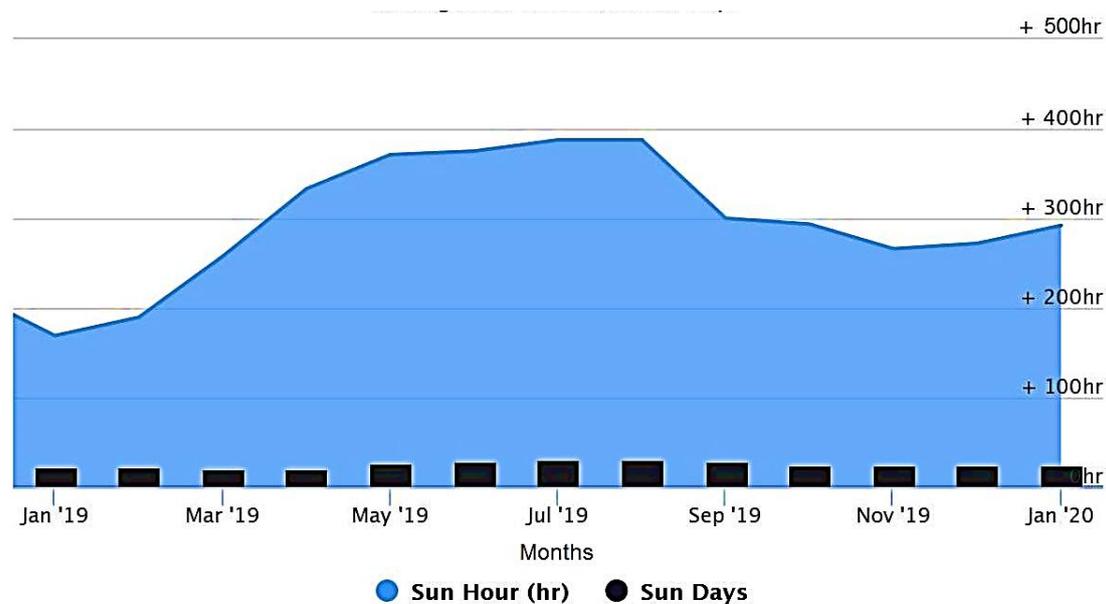


Рис. 3. Средние солнечные часы и солнечный день
 Fig. 3. Average sun hours and sun day

Таблица 1. Среднемесячные значения суммарной солнечной радиации и скорости ветра
 Table 1. Monthly average values of total solar radiation and wind speed

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Средние значения
Среднемесячная скорость ветра, м/с	3,3	3,5	3,7	3,7	3,9	4,9	5,0	4,3	3,6	3,3	3,2	3,2	3,8
Средняя суммарная солнечная радиация за сутки, кВт·ч/м ²	2,79	3,74	4,9	5,87	6,9	8,1	7,8	7,09	6,01	4,27	2,92	2,49	5,25

Использование солнечного потенциала для работы гибридной системы

Ирак расположен вблизи солнечного пояса (северного тропика), за сутки приход солнечной радиации может составлять до 6,5...7 кВт·ч/м². Периоды солнечной активности оцениваются между 2500 и 3500 ч/год. Это дает Ираку решать проблему с дефицитом электроэнергии и использовать солнечную радиацию. Все указанные города Ирака, очевидно, имеют высокие показатели солнечной инсоляции.

Это дает Ираку необходимую квалификацию для эксплуатации солнечной энергии [17]. Самая высокая пиковая яркость Солнца приходится на июнь – в среднем 11,4 ч/день, а самая низкая в январе – на 6,3 ч/день. Максимальные температуры колеблются от 16 в январе до 48,5 °С в июле. Минимальные температуры колеблются от 3,6 в январе до 24,2 °С в июле.

Фотоэлектрические элементы могут использоваться для выработки электроэнергии в удаленных районах, где нет сетевых подключений. Они могут использоваться для наружного уличного освещения и эксплуатации вышек связи в удаленных местах [18].

В моделировании использовалась солнечная панель с техническими характеристиками, указанными в таблице 2.

Таблица 2. Параметры солнечной панели

Table 2. Solar panel parameters

Параметры	Значение
Типичная пиковая мощность (P_p)	225 Вт
Ток при пиковой мощности (I_{pp})	7,55 А
Напряжение при пиковой мощности (V_{pp})	29,76 В
Напряжение холостого хода (V_{OC})	36,88 В
Ток короткого замыкания (I_{SC})	8,27 А
Температурный коэффициент тока короткого замыкания (КИ)	0,052 мА/°С
Приблизительное влияние температуры на мощность	-0,46 Вт/°С
Количество фотоэлементов	60

Благодаря равномерному распределению солнечной радиации по всему Ираку фотоэлектрическая солнечная технология подходит для производства электроэнергии на всей территории Ирака. Солнечная фотоэлектрическая технология также подходит для автономного производства электроэнергии на электростанциях в сельских пустынных районах. На эффективность фотоэлементов влияет высокая температура воздуха и запыленность.

Ветроэнергетический потенциал

Ветровые турбины используются для выработки электроэнергии путем преобразования кинетической энергии ветра, т. е. выработка от энергии ветра в первую очередь зависит от скорости ветра. Современные наиболее эффективные ветровые турбины получают более 50 % доступной энергии ветра по сравнению с эффективностью использования топлива на уровне 30...40 % для обычной угольной станции, которая теряет значительную часть энергии из-за потерь тепла и загрязнения.

Некоторые преимущества использования ветровых турбин для выработки электроэнергии:

- экологическая чистота;
- не производят загрязнения;
- не требуется традиционное топливо;
- требует относительно небольшого обслуживания;
- длительный срок службы (до 30 лет).

Недостатки:

- непостоянство скоростей ветровых потоков;
- высокая начальная стоимость ветротурбин.

Приведенная ниже формула описывает мощность ветровой турбины, Вт [19]:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3,$$

где P – мощность ВЭУ, кВт; ρ – плотность воздуха, кг/м³; A – ометаемая площадь ветроколеса, м²; V – расчетная скорость ветра, м/с.

Ветро-солнечная гибридная энергетическая система

Характеристики предлагаемой гибридной ветро-солнечной электрической системы с аккумуляторной батареей и локальной сетью даны в таблице 3 и проиллюстрированы простой схемой на рисунке 4.

Таблица 3. Технические характеристики ветрогенератора

Table 3. The wind turbine characteristics

Параметры	Значение
Напряжение	460 В
Номинальная мощность	150 кВт
Номинальная скорость вращения	1750 об/мин
Номинальная скорость ветра	9 м/с
Частота	60 Hz
Диаметр	27 м

Солнечная система обеспечивает энергию, когда светит солнце (дни с ясным небом), тогда как в морозные дни, которые часто бывают об-

лачными, ветровые системы заменят солнечные панели, обеспечивая больше энергии как для автономных, так и для сетевых устройств [20]. Выбор города Наджафа в качестве места для

установки гибридных солнечных и ветряных энергетических систем обоснован хорошим солнечным излучением и достаточной скоростью ветра [21].

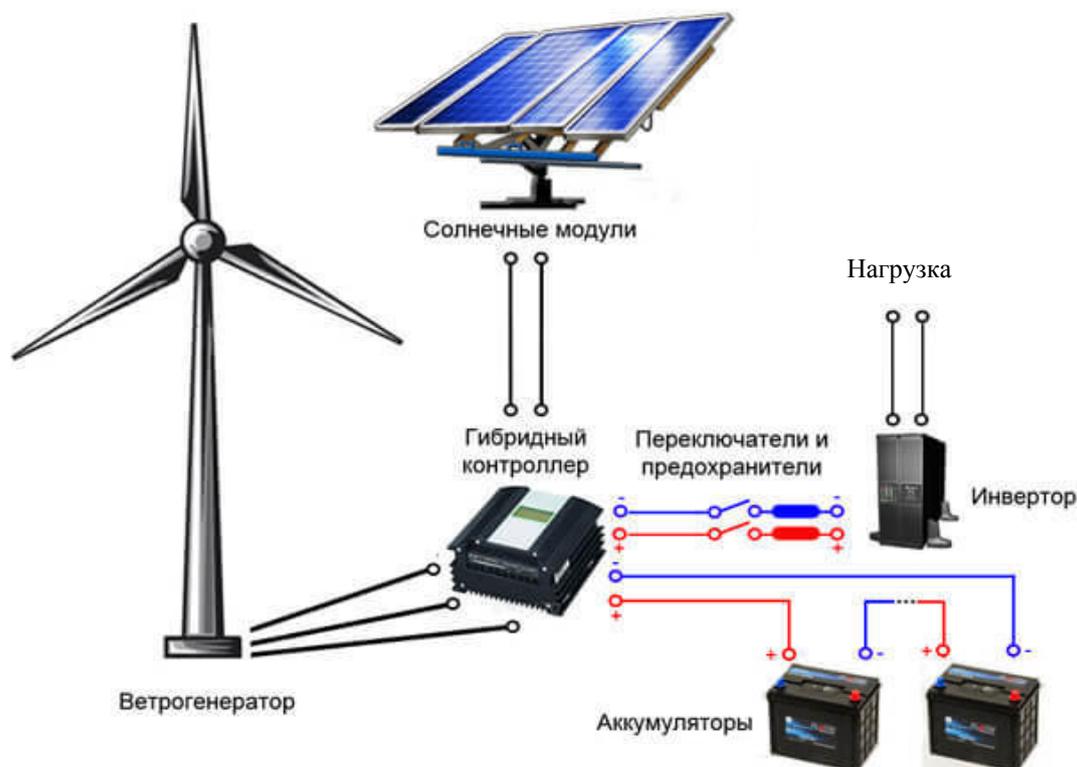


Рис. 4. Схема гибридной ветро-солнечной электростанции

Fig. 4. Hybrid wind-solar power scheme

Доступное солнечное излучение на Земле рассчитывается двумя основными способами. Первый – в соответствии с глобальной горизонтальной освещенностью, которая обычно рассчитывается с помощью пиранометра; второй метод основан на прямой нормальной освещенности, которая измеряется пиргелиометром.

Результаты исследования

Исследовано стратегическое воздействие возобновляемых источников энергии на оптимизацию энергосистемы; модель была разработана и смоделирована с помощью MATLAB/SIMULINK для определения рабочих характеристик различных возобновляемых источников энергии с доступной электросетью. Основные входные данные для фотоэлектрических модулей – солнечное излучение и атмосферная температура, а также информация из паспорта производства фотоэлектрических модулей. Для ветровой турбины входными параметрами были скорость ветра и техническое описание ветротурбины.

Общая мощность, вырабатываемая системой, представляет собой сумму мощности ветровой турбины и общей мощности, вырабатываемой солнечной фотоэлектрической панелью, как показано на рисунках 5 и 6 соответственно, а также общей комбинированной выходной мощности гибридных систем (рис. 7).

Основным преимуществом гибридных систем является то, что их можно использовать круглый год. При этом летом это делают фотоэлектрические преобразователи, а зимой большую часть электроэнергии вырабатывают ветровые электростанции (ВЭС).

При одинаковых установленных мощностях ВЭС и солнечных электростанций (СЭС), их соответствующие вклады значительно варьируются в зависимости от сезона и в течение всего года.

Разработка гибридных систем даст ответы на множество актуальных вопросов иракской энергетики, важнейшим из которых является постоянное возрастание дефицита электрической энергии.

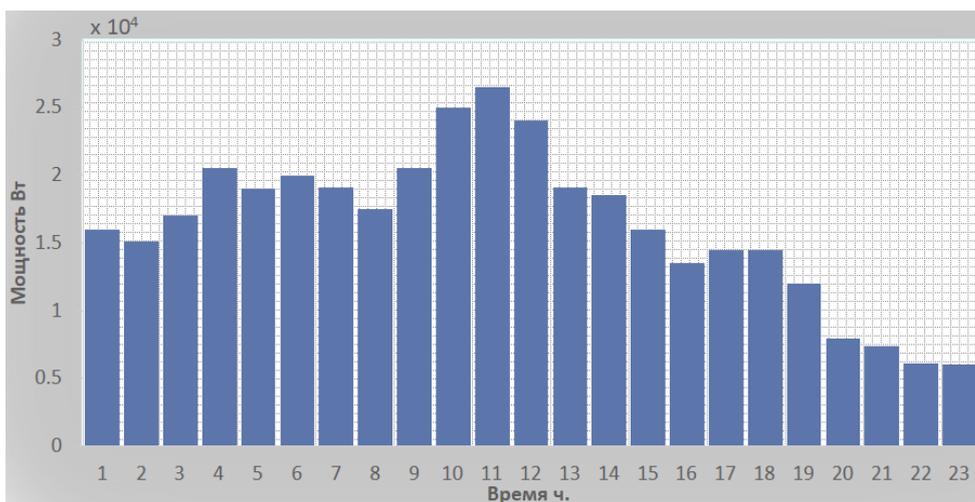


Рис. 5. Моделирование выработки электроэнергии ветроэлектрической установкой

Fig. 5. Power generation wind turbine

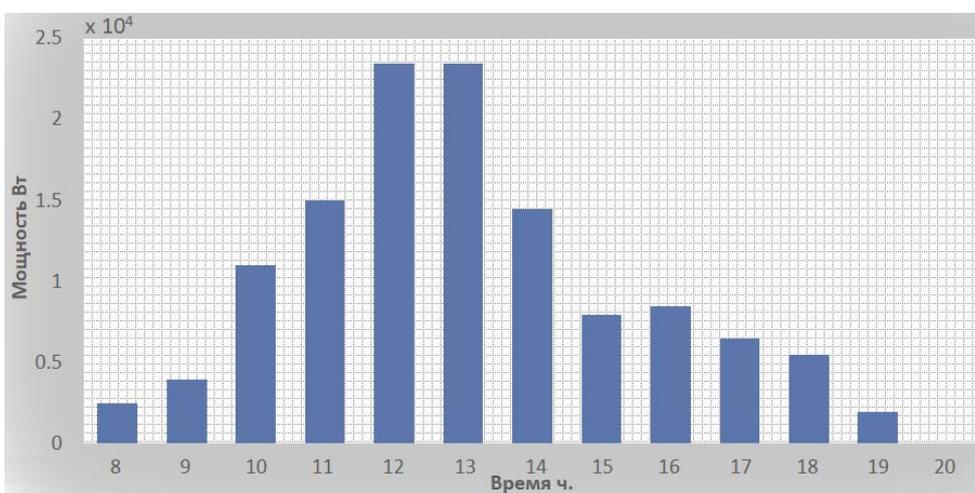


Рис. 6. Моделирование выработки электроэнергии фотоэлектрической батареей

Fig. 6. Power generation PV Panel

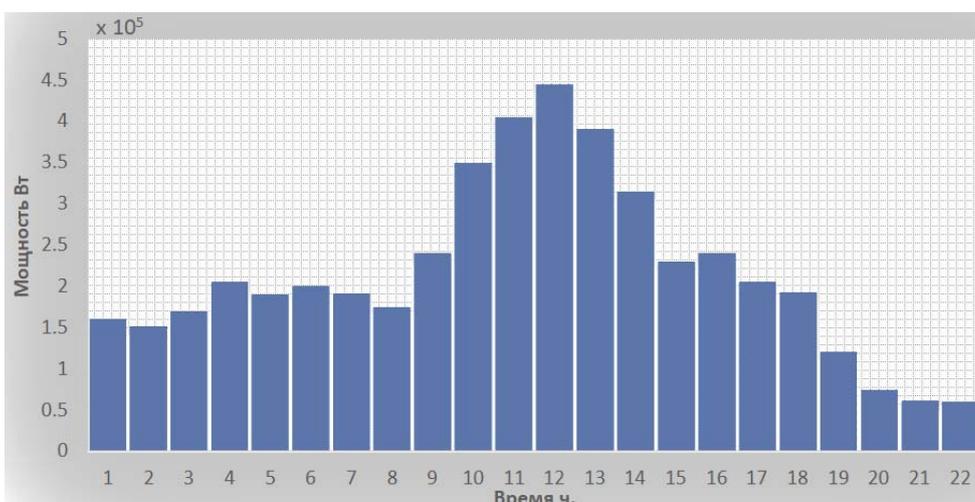


Рис. 7. Моделирование выработки электроэнергии гибридной ветро-фотоэлектрической системой

Fig. 7. Power generation hybrid system

Предлагаемая система представляет собой гибридную систему, которая имеет возможность питать небольшую деревню необходимой электрической энергией или в качестве резервного источника питания во время полного отключения.

Заключение

Предложена и смоделирована гибридная система для комбинированного преобразования солнечной и ветровой энергии. Система состоит из фотоэлектрических модулей и ветровой электроустановки и предполагается к использованию для города Аль-Наджаф на юге Ирака в качестве генерирующего комплекса на основе возобновляемой энергии. Модель системы реализована с использованием программного пакета MATLAB. В результате анализа климатических особенностей Аль-Наджафа на юге Ирака было измерено и смоделировано среднеемесячное поступление солнечной радиации с максимумом 6,5...7 кВт·ч/м² и среднегодовые значения скоростей ветра около 3,8 м/с. При проведении экспериментальных исследований было установлено, что генерация электрической энергии комбинированной установкой в летний период происходит в основном за счет работы солнечных модулей, а в зимний период – за счет ветроэлектрической турбины. Таким образом, эти две системы дополняют работу друг друга и способствуют равномерной выработке электроэнергии в течение года. В процессе проведения работы был сделан вывод, что часть энергетических потребностей некоторых регионов Ирака может быть решена за счет использования солнечного и ветрового потенциала. Из-за нестабильности альтернативных установок возобновляемой энергетики необходимо совместно использовать различные источники возобновляемой энергии, чтобы дополнить работу каждого из них.

Полученные результаты показывают, что гибридные электростанции могут быть использованы для сокращения дефицита энергии, особенно в южных районах Ирака, обеспечения огромного потенциала солнечной энергии при высокой скорости ветра, а также в сельских районах, которые далеки от традиционных источников генерации электроэнергии.

Библиографические ссылки

1. Khare V., Nema S. and Baredar P. Solar-wind hybrid renewable energy system. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2016, vol.58, pp. 23-33, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.223>.

2. Abo-Elyousr F.K., Abdelshafy A.M., Abdelaziz A.Y. TMPT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*, Springer, Cham, Switzerland, 2020, pp. 379-400.

3. Abo-Elyousr F.K., Abdelshafy A.M., Abdelaziz A.Y. MPPT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*, Springer, Cham, Switzerland, 2020, pp. 379-400.

4. Morlaye Sekou Camara, Mamadou Bailo Camara, Brayima Dakyo and Hamid Gualous. Permanent Magnet Synchronous Generator for Offshore Wind Energy System Connected to Grid and Battery- Modeling and Control Strategies. *International Journal of Renewable Energy*, Le Havre, France, 2015.

5. Senol M., Abbasoğlu S., Kukrer O., Babatunde A. A guide in installing large-scale PV power plant for self-consumption mechanism. *Sol. Energy*, 2016, 132, pp. 518-537.

6. Chatterjee A., Keyhani A., Kapoor D. Identification of Photovoltaic Source Models. *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 2011, vol. PP, pp. 1-7.

7. Bana S. and Saini R.P. A mathematical modeling framework to evaluate the performance of single diode and double diode based SPV systems. *Energy Reports*, 2016, 2, pp. 171-187.

8. Abd Ali L.M., Al-Rufae F.M., Kuvshinov V.V. Study of Hybrid Wind - Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, 56, pp. 284-290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.

9. Amiry H. Design and implementation of a photovoltaic I-V curve tracer: Solar modules characterization under real operating conditions. *Energy Conversion and Management*, 2018, 169, pp. 206-216.

10. Ibrahim H. and Anani N. Variations of PV module parameters with irradiance and temperature. *Energy Procedia*, 2017, 134, pp. 276-285.

11. Sachit M.S., Shafri H.Z.M., Abdullah A.F., Rafie A.S.M. Combining Re-Analyzed Climate Data and Land-cover Products to Assess the Temporal Complementarity of Wind and Solar Resources in Iraq. *Sustainability*, 2021, 14 (1), 388.

12. Abd Ali L. M., Al-Rufae F.M., Kuvshinov V.V. Study of Hybrid Wind-Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284-290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.

13. Al-Waeli, Ali A.K., Kadhem A. Al-Asadi, Mariyam M. Fazleena. The impact of Iraq climate condition on the use of solar energy applications in Iraq. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 2017, no. 68, pp. 64-73.

14. Yin O.W. and Babu B.C. Simple and easy approach for mathematical analysis of photovoltaic (PV) module under normal and partial shading conditions. *Optik*, 2018, 169, pp. 48-61.

15. Aurel Gontean, Septimiu Lica, Szilard Bularka, Roland Szabo, Dan Lascu. A Novel High Accuracy PV Cell Model Including Self Heating and Parameter Variation, *Energies*, 2018, 11,36.

16. Xuan Hieu Nguyen, Minh Phuong Nguyen. Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays with tags in Matlab/Simulink. Environmental Systems Research, 2015, 4, 24.

17. Al-Kayiem H.H., Mohammad S.T. Potential of renewable energy resources with an emphasis on solar power in Iraq. Resources, 2019, 8 (1), 42.

18. Li H., Yang D., Su W. An overall distribution particle swarm optimization mppt algorithm for photovoltaic system under partial shading. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 265-275.

19. Cheboxarov V.V. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.

20. Fares D., Fathi M., Mekhilef S. Performance evaluation of metaheuristic techniques for optimal sizing of a stand-alone hybrid PV/wind/battery system. Applied Energy, 2022, 117823, pp.305-312.

21. Somwanshi D. and Chaturvedi A. Design and Optimization of a Grid-Connected Hybrid Solar Photovoltaic Wind Generation System for an Institutional Block, 2020, pp. 319-326.

References

1. Khare V., Nema S. and Baredar P. Solar-wind hybrid renewable energy system. Renew. Sustain. Energy Rev., 2016, vol. 58, pp. 23-33, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.223>.

2. Abo-Elyousr F.K., Abdelshafy A.M., Abdelaziz A.Y. TMPT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems, Springer, Cham, Switzerland, 2020, pp. 379-400.

3. Abo-Elyousr F.K., Abdelshafy A.M., Abdelaziz A.Y. MPPT-Based Particle Swarm and Cuckoo Search Algorithms for PV Systems. In Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems, Springer, Cham, Switzerland, 2020, pp. 379-400.

4. Morlaye Sekou Camara, Mamadou Bailo Camara, Brayima Dakyo and Hamid Gualous. Permanent Magnet Synchronous Generator for Offshore Wind Energy System Connected to Grid and Battery - Modeling and Control Strategies. International Journal of Renewable Energy, Le Havre, France, 2015.

5. Senol M., Abbasoğlu S., Kukrer O., Babatunde A. A guide in installing large-scale PV power plant for self-consumption mechanism. Sol. Energy, 2016, 132, pp. 518-537.

6. Chatterjee A., Keyhani A., Kapoor D. Identification of Photovoltaic Source Models. Energy Conversion, IEEE Transactions on, 2011, vol. PP, pp. 1-7.

7. Bana S. and Saini R.P. A mathematical modeling framework to evaluate the performance of single diode and double diode based SPV systems. Energy Reports, 2016, 2, pp. 171-187.

8. Abd Ali L.M., Al-Rufae F.M., Kuvshinov V.V. et al. Study of Hybrid Wind - Solar Systems for the Iraq Energy Complex. Appl. Sol. Energy, 2020, 56, pp. 284-290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.

9. Amiry H. Design and implementation of a photovoltaic I-V curve tracer: Solar modules characterization under real operating conditions. Energy Conversion and Management, 2018, 169, pp. 206-216.

10. Ibrahim H. and N. Anani. Variations of PV module parameters with irradiance and temperature. Energy Procedia, 2017, 134, pp. 276-285.

11. Sachit M.S., Shafri H.Z.M., Abdullah A.F., Rafie A.S.M. Combining Re-Analyzed Climate Data and Landcover Products to Assess the Temporal Complementarity of Wind and Solar Resources in Iraq. Sustainability, 2021, 14 (1), 388.

12. Abd Ali, L.M., Al-Rufae, F.M., Kuvshinov, V.V. et al. Study of Hybrid Wind-Solar Systems for the Iraq Energy Complex. Appl. Sol. Energy, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 284-290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.

13. Al-Waeli, Ali AK, Kadhem A. Al-Asadi, Mariyam M. Fazleena. The impact of Iraq climate condition on the use of solar energy applications in Iraq. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2017, no. 68, pp. 64-73.

14. Yin O.W. and Babu B.C. Simple and easy approach for mathematical analysis of photovoltaic (PV) module under normal and partial shading conditions. Optik, 2018, 169, pp. 48-61.

15. Aurel Gontean, Septimiu Lica, Szilard Bularka, Roland Szabo, Dan Lascu. A Novel High Accuracy PV Cell Model Including Self Heating and Parameter Variation, Energies, 2018, 11, 36.

16. Xuan Hieu Nguyen, Minh Phuong Nguyen. Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays with tags in Matlab/Simulink. Environmental Systems Research, 2015, 4, 24.

17. Al-Kayiem H.H., Mohammad S.T. Potential of renewable energy resources with an emphasis on solar power in Iraq. Resources, 2019, 8 (1), 42.

18. Li H., Yang D., Su W. An overall distribution particle swarm optimization mppt algorithm for photovoltaic system under partial shading. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 265-275.

19. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.

20. Fares D., Fathi M., Mekhilef S. Performance evaluation of metaheuristic techniques for optimal sizing of a stand-alone hybrid PV/wind/battery system. Applied Energy, 2022, 117823, pp. 305-312.

21. Somwanshi D. and Chaturvedi A. Design and Optimization of a Grid-Connected Hybrid Solar Photovoltaic- Wind Generation System for an Institutional Block, 2020, pp. 319-326.

Using Hybrid Wind-Solar Power Systems for the Al-Najaf City in Iraq

L.M. Abdali, Post-graduate, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

M.N. Al-Maliki, Post-graduate, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Q.A. Ali, Post-graduate, Institute of Energy of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

B.A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

N.V. Korovkin, DSc in Engineering, Professor, Institute of Energy of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

V.V. Kuvshinov, PhD in Engineering, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

S.I. Solomennikova, PhD in Engineering, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

The findings of a study of a combined wind-photovoltaic installation for use in the Najaf governorate's energy sector are presented in this article. The suggested hybrid system is for serving community customers in Iraq, as well as for the country's energy sector. Iraqi consumers are constantly short of electricity, and the proposed approach of combining solar and solar installations to generate energy will assist to alleviate this problem. In the presented studies, the authors show a total increase in the efficiency of the mini-energy complex due to the combined generation of electric energy by converting the wind flow and solar radiation. This work is devoted to the analysis and modeling of a small autonomous hybrid wind-photo-energy system. The paper presents a simulation of the operation of a wind power installation. During the study, parameters such as the angle of inclination, rotor diameter, wind speed, etc. are taken into account. The photovoltaic installation is simulated under realistic conditions, such as silicon cell temperature, sun insolation, and so on. The MATLAB computer program was used to solve mathematical models of small horizontal axes of wind turbines and solar systems. An experiment was conducted with low-power installations. The findings reveal that when hybrid wind-solar systems are used to power Iraq's energy complex, the total output of the hybrid installation increases dramatically. Furthermore, the output of electric energy from wind and solar installations varies throughout the year. During summer months, mainly photovoltaic batteries operate, while in winter months, wind turbines make the main contribution to the generation. As a result, the joint work of wind and solar installations to generate electrical energy helps to establish a more uniform generation throughout the year.

Keywords: Matlab, energy complex, wind energy, solar energy, hybrid wind-photovoltaic system.

Получено 30.05.2022

Образец цитирования

Использование гибридных ветро-солнечных систем для энергоснабжения города Аль-Наджаф в Республике Ирак / Л. М. Абдали, М. Н. Аль-Малики, К. А. Али, Б. А. Якимович, Н. В. Коровкин, В. В. Кувшинов, С. И. Соломенникова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. Т. 25, № 3. С. 82–91. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91.

For Citation

Abdali L.M., Al-Maliki M.N., Ali Q.A., Yakimovich B.A., Korovkin N.V., Kuvshinov V.V., Solomennikova S.I. [Using Hybrid Wind-Solar Power Systems for the Al-Najaf City in Iraq]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2022, vol. 25, no. 3, pp. 82-91 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91.