Улучшение управления спросом на энергию путем применения интеллектуальной электросети для энергетического сектора Ирака

Х. Д. Мохаммед

Институт энергетики
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия

Кафедра машиностроения, Инженерный Факультет, Майсан университет
Майсан, Аль-Амара, Ирак
hdr_jsm@uomisan.edu.iq

Н. В. Коровкин

Институт энергетики
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
Nikolay.korovkin@gmail.com

Аннотация. **Электроэнергетический сектор Ирака сталкивается с серьезными проблемами в результате ущерба, нанесенного последовательными войнами и военными операциями на протяжении более трех десятилетий, при этом предполагаемый ущерб за период с 2004 по 2015 год составил 2 901 463 479 долларов США. Эти проблемы иллюстрируются постоянным ростом спроса, который значительно возрос, который значительно вырос до 47 000 МВт по сравнению с производством, оцениваемым в 27 000 МВт в 2024 году, что является самым высоким производством, достигнутым Министерством электроэнергетики Ирака за всю его историю. Это указывает на большой дефицит, оцениваемый в 20 000 МВт в производстве, несмотря на достигнутый рост, что требует дополнительных исследований для поиска соответствующих решений по улучшению производительности электроэнергетической системы с целью сокращения дефицита поставок энергии в различные сектора и типы потребителей. Норма потребления продуктивной энергии на душу населения увеличилась с 2742 кВт·ч в 2018 году до (3347) кВт·ч в 2022 году, что на 22% больше запланированных 4041 кВт·ч из-за больших перегрузок в распределительных сетях. Текущие линии электропередачи страдают от узких мест, поскольку электрические нагрузки превышают пропускную способность сети электропередачи, несмотря на завершение многих проектов в этом секторе. Рост нагрузок является значительным и быстрым; этот сектор влияет на разрушение жилых единиц, чрезмерное использование неэффективных электроприборов, расчистка сельскохозяйственных земель и их преобразование в жилые единицы, незаконные посягательства на электросеть, отсутствие систематических работ по техническому обслуживанию и слабость механизмов подотчетности и эффективных законов против нарушителей. Эти показатели показывают важность совершенствования национальной энергетической системы путем изучения возможности того, что интеллектуальные сети и современные системы способствуют, в дополнение к использованию возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, повышению общей производительности, увеличению часов подачи и сокращению потерь в старых сетях и нарушений, происходящих в них. Умные сети представляют собой успешную трансформацию в управлении и распределении электроэнергии, особенно в энергодефицитных регионах, таких как Ирак. Эти сети используют современные технологии для повышения энергоэффективности, что позволяет лучше контролировать и управлять потреблением электроэнергии. Национальные центры управления электроэнергетической системой могут собирать данные в реальном времени о моделях потребления и состоянии сети, интегрируя интеллектуальные счетчики и датчики. Они помогают вносить упреждающие корректировки в распределение энергии и стабилизировать национальную сеть, также интегрируя в нее возобновляемые источники энергии. В этой исследовательской работе с помощью модели System Advisor продемонстрирована ее эффективность в улучшении интеграции возобновляемых источников энергии для моделирования интеллектуальной сети в климатических условиях Ирака. SAM представляет собой программный инструмент, разработанный для облегчения моделирования энергии для различных энергетических систем, особенно тех, которые интегрируют нетрадиционные чистые источники энергии.**

Ключевые слова: электроэнергетический сектор; Ирак; умная сеть; интеллектуальное измерение; возобновляемая энергия; HOMER

I. Введение

Энергия является важным нервом в развитии современной цивилизации из-за ее прямого влияния на технологическую и информационную революцию. Она способствует социальному и экономическому прогрессу и повышает благосостояние человечества. Ее производство с использованием ископаемого топлива оказывает прямое воздействие на окружающую среду в результате глобального потепления из-за парниковых газов. Поэтому необходимо учитывать загрязнение окружающей среды. В результате все большего развития во всех аспектах жизни, глобальный спрос на энергию продолжает расти, как и растущий спрос на традиционные источники энергии, что подталкивает

общество к необходимости поиска и разработки альтернативных источников энергии [1] Среднее количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли, варьируется в зависимости от местоположения и составляет от 150 до 250 Вт/м2, или 1300-2200 кВтч/м2 в год [2, 3]. Ирак сталкивается с серьезными проблемами в удовлетворении спроса на энергию, особенно сегмента бытовых потребителей, который представляет наибольшую долю от общего числа потребителей, в дополнение к тому факту, что потребление энергии продолжает расти [4, 5]. Энергетический сектор Ирака в настоящее время страдает от устаревшей инфраструктуры, неэффективного управления и частых отключений электроэнергии. Отсутствие современной электросети ограничивает возможности Ирака по повышению энергоэффективности и эффективной интеграции возобновляемых источников энергии [4, 5]. Более того, устаревшая инфраструктура и перегруженные распределительные сети способствуют продолжающемуся энергетическому кризису, который длится уже более трех с половиной десятилетий из-за ущерба, нанесенного электроэнергетической системе в результате последовательных войн и внутренних конфликтов, при этом потери только в электроэнергетическом секторе оцениваются в 2901463479 долларов США за период с 2004 по 2015 год. Эти проблемы представлены непрерывным ростом спроса, который значительно подскочил до 47 000 МВт по сравнению с производством, оцениваемым в 27000 МВт в 2024 году, что является самым высоким производством. Это указывает на большой дефицит, оцениваемый в 20 000 МВт в производстве, несмотря на достигнутый рост, что требует дополнительных исследований для поиска соответствующих решений по улучшению производительности электроэнергетической системы с целью сокращения дефицита поставок энергии в различные сектора и типы потребителей. Уровень потребления продуктивной энергии на душу населения увеличился с 2742 кВт·ч в 2018 году до (3347) кВт·ч в 2022 году, увеличившись на 22 % от запланированных 4041 кВт·ч из-за больших излишков в распределительных сетях. Общее производство электрической системы увеличилось до (157 219 455) МВт·ч в 2023 году по сравнению с 2022 годом, после того как оно составило (139 575 645) мегаватт-часов МВт·ч, с темпом роста (13 %). Текущие линии электропередачи страдают от узких мест, поскольку электрические нагрузки превышают пропускную способность сети электропередачи, несмотря на завершение многих проектов в этом секторе. [6]

Рис. 1. Производство электрической системы

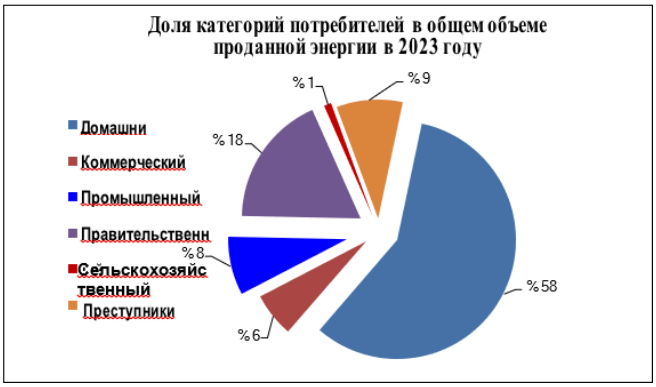

Рис. 2. Процент категорий потребителей в общем объеме проданной энергии в Ираке

Как показано на рис. 1, годовой темп производства электроэнергии достиг (15483) МВт в 2022 году, по сравнению с годовым темпом производства (12086) МВт в 2018 году, увеличившись на (28 %). Это меньше запланированного (20869) МВт. Это привело к увеличению импорта электроэнергии в 2018 году с (534) МВт до (661) МВт в 2022 году. На рис. 2 показаны процентные доли категорий потребителей электроэнергии, где потребление домохозяйств составило (58) %, правительственный процент достиг (18) % и промышленный (18) %, коммерческий (6) %, и нарушители (9) %, при этом мы отмечаем, что сельскохозяйственное потребление является самым низким (1) %. Уровень потребления продуктивной энергии на душу населения увеличился с (2742) кВт·ч в 2018 году до (3347) киловатт/час в 2022 году, что на 22 % больше запланированного (4041) кВт·ч из-за больших излишков в распределительных сетях.

Нагрузки в этом секторе быстро растут из-за разделения жилых помещений, чрезмерного использования неэффективных электроприборов при использовании энергии, расчистки сельскохозяйственных земель и их преобразования в жилые помещения, незаконных посягательств на электросеть, отсутствия систематических работ по техническому обслуживанию и слабости механизмов подотчетности и эффективных законов против нарушит Для борьбы с этими проблемами необходим переход к энергоэффективным практикам и технологиям. Одним из перспективных решений является модернизация национальной сети путем внедрения интеллектуальных электросетей, которые могут улучшить распределение энергии и сократить отходы.

A. Умные электросети и их преимущества

Интеллектуальные сети представляют собой значительный шаг вперед в современном управлении энергией, интегрируя новые технологии для повышения эффективности, надежности и устойчивости. Эти системы облегчают двустороннюю связь между коммунальными службами и потребителями, позволяя осуществлять мониторинг и контроль использования энергии в режиме реального времени. Преимущества интеллектуальных сетей многогранны, они влияют на энергоэффективность, интеграцию возобновляемых источников энергии и общую устойчивость системы [7–10]. Повышение энергоэффективности с помощью

интеллектуальных сетей достигается за счет снижения потребления энергии до 20% в режиме реального времени [12]. Аналогичным образом, интеграция искусственного интеллекта повышает энергоэффективность на 11,76 % и снижает ошибки прогнозирования на 66,67 % [7]. Повышение надежности сети снижает потери энергии, что способствует сокращению выбросов углекислого газа [12]. Наиболее известными странами, которые добились успеха во внедрении технологий интеллектуальных сетей, являются США и Южная Корея, которые интегрировали передовую инфраструктуру учета для улучшения распределения энергии и сокращения отходов. Ирак может извлечь выгоду из опыта успешных стран [13–15].

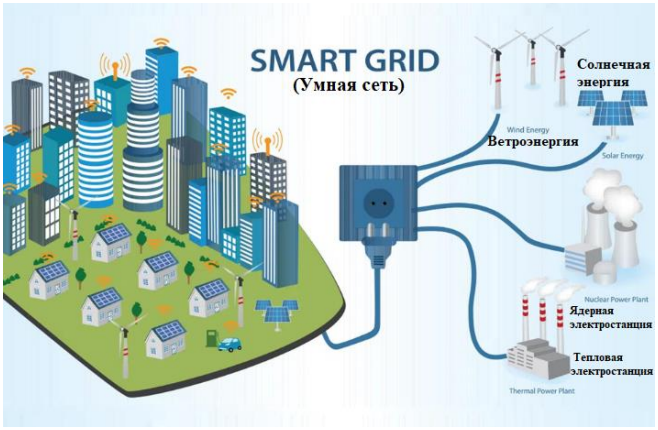

Рис. 3. Производство электрической системы

B. Стратегии внедрения интеллектуальных сетей в Ираке

Реализация проектов интеллектуальных сетей в Ираке представляет собой многосторонний подход к решению энергетических проблем страны, особенно в свете сильной зависимости от традиционных электростанций и частых отключений электроэнергии. Интеграция технологий интеллектуальных сетей может повысить эффективность энергетической системы, расширить разнообразие возобновляемых источников энергии за счет их вклада в производство электроэнергии и повысить общую надежность сети.

Ирак намерен производить 25 % своей электроэнергии из нетрадиционных источников к 2030 году, уделяя особое внимание солнечной и ветровой энергии. В настоящее время в рамках правительственной программы Министерства электроэнергии реализуются проекты по добавлению до 10 гигаватт возобновляемой энергии к 2030 году для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию. Проектирование интеллектуальной беспроводной сети для улучшения распределения электроэнергии, решение таких проблем, как высокие показатели потерь (51 %) во время распределения, облегчает мониторинг и контроль в реальном времени, что снижает кражу энергии и потери в сети, а также повышает надежность обслуживания. Внедрение управления на стороне спроса может помочь регулировать спрос на энергию, особенно в часы пик, стимулируя потребителей переносить использование на непиковые.

C. HOMER и его роль в моделировании интеллектуальных сетей

HOMER – это программный инструмент, разработанный для упрощения моделирования энергии для различных энергетических систем, особенно тех, которые интегрируют нетрадиционные чистые источники энергии. Поскольку города стремятся внедрять решения интеллектуальных сетей, реальные приложения HOMER и SAM продемонстрируют свою эффективность в улучшении интеграции возобновляемых источников энергии.

D. Результаты моделирования

SAM можно определить как комплексный программный инструмент для анализа и проектирования различных типов систем возобновляемой энергии Предлагаемая площадка проекта для применения системы возобновляемой энергии, подключенной к сети, на юге Ирака находится в городе Мисан, как показано на рис. 4 ниже.

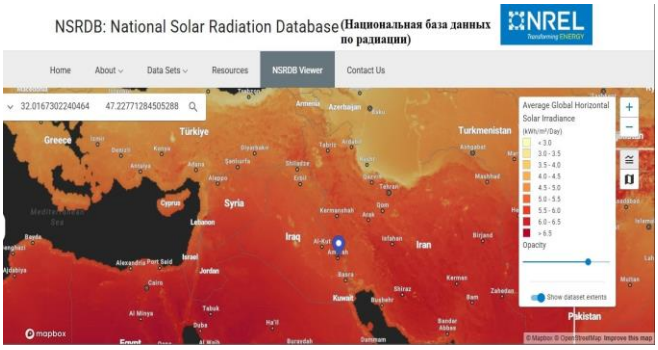

Рис. 4. Проект предложения в Ираке [17]

Типичные проектные характеристики приведены в табл. I и II. Успешная реализация проектов по производству энергии с использованием возобновляемых источников энергии привлекла внимание южного Ирака в городе Амара. В табл. I и II показана годовая энергия переменного тока для первого года проекта и другие характеристики.

ТАБЛИЦА I. ГОДОВАЯ ЭНЕРГИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ПЕРВЫЙ ГОД ПРОЕКТА И ДРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Метрическая	**Значение**
Всего за 1 год генерация	1,118,877 кВт·ч
COE выровненная стоимость энергии номинальная	15.30 ¢/ кВт·ч
LCOE выровненная стоимость энергии реальная	12.20 ¢/ кВт·ч
Цена PPA в 1 году	15.30 ¢/ кВт·ч
LPPA выровненная цена PPA номинальная	16.54 ¢/ кВт·ч
LPPA выровненная цена PPA реальная	13.19 ¢/ кВт·ч
Чистая стоимость капитала	$2,067,930
Капитал	$934,891
Размер долга	$1,133,039
Процент долга	54.79%

ТАБЛИЦА II. ГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ ПЕРВОГО ГОДА ПОДСИСТЕМЫ

Метрическая	**Значение**
PVWatts	939,340 кВт·ч
Коэффициент мощности постоянного тока PVWatts	19.9%

Метрическая	Значение
Выход энергии PVWatts	1,740 кВт·ч/кВт
Ветер	186,767 кВт·ч
Коэффициент мощности переменного тока ветра	21.3%
Выход энергии ветра	1,835 кВт·ч/кВт
КПД кругового цикла батареи	91.90%
Энергия заряда батареи от системы	100.0%

Ежемесячная генерация системы возобновляемой энергии в этом году от фотоэлектрических установок ежемесячной генерации переменного тока, которая равна 939 340 кВтч, и ежемесячной генерации ветряных турбин, которая равна 186 767 кВтч, рис. 5. Годовая выработка электроэнергии переменного тока (кВт·ч) ветровой турбиной за год показана на рис. 6 с учетом данных о выработке электроэнергии каждый час по дням года.

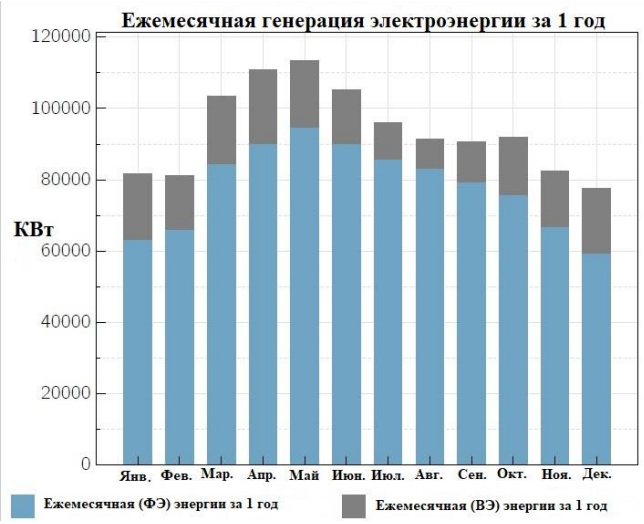

Рис. 5. Ежемесячная генерация гибридной системы в году

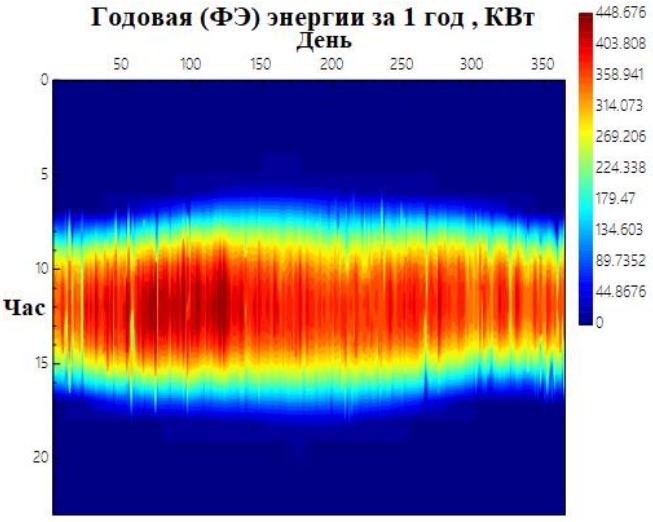

Рис. 6. Годовая энергия переменного тока от фотоэлектрических модулей в году

II. Заключение

В этой статье обсуждено моделирование гибридной системы, объединяющей фотоэлектрическую (PV) и ветровую энергию с аккумуляторными батареями. Кроме того, была использована консультативная модель системы (SAM) для получения в реальном времени электрических параметров системы, подключенной к сети, с использованием технологии интеллектуальной сети. Этот метод был использован для моделирования гибридной системы возобновляемой энергии с аккумуляторными батареями в иракских климатических условиях. Внутренние потребители и государственные энергетические компании составили 58 % и 18 % соответственно от категорий потребителей от общего объема проданной в Ираке энергии. Следовательно, они представляют примерно 76 % от общего объема производства энергии. Управление спросом на энергию можно улучшить путем внедрения интеллектуальных сетей, которые сокращают потери энергии в традиционных сетях. Также применение интеллектуальных счетчиков может помочь контролировать избыточное потребление электроэнергии, тем самым сокращая беспорядочное потребление энергии. Интеллектуальные сети повышают энергоэффективность, интегрируют возобновляемые источники энергии и обеспечивают экономические и экологические преимущества, сталкиваясь с такими проблемами, как финансовые ограничения и нехватка квалифицированной рабочей силы. Глобальные примеры показывают многообещающие результаты, и успех зависит от модернизации инфраструктуры, прочной нормативной базы и вовлеченности заинтересованных сторон для перехода к устойчивому энергетическому будущему.

Благодарность

Мы хотели бы выразить благодарность нашим коллегам из Института энергетики, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и Мисанского университета за постоянную помощь.

Список литературы

[1] Mohammed H.J., & Vladimirovich K.N. (2024). Optimization Performance PV system by using Theoretical and Practical Methods to Improve Energy Sector of Iraq, The 7th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE 2024), Nantes, France, 28-30 August, 2024, In E3S Web of Conferences (Vol. 572, p. 01005). EDP Sciences, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202457201005.

[2] H.J. Mohammed and K.N. Vladimirovich, "Development Energy System of Iraq Harnessing the Power of Molten Salt by CSP Plant With Thermal Storage Energy, 2024 9th International Youth Conference on Energy (IYCE), Colmar, France, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/IYCE60333.2024.10634967.

[3] Ibrahim A.J., Zangana D.D., & Dehghanifarsani L. (2024). Effectiveness of building envelope parameters and adopting PV panels to reduce reliance on local generators in hot-dry climate.

[4] Ministry of Planning, Republic of Iraq, Authority of Statistics and Geographic Information Systems, Directorate of Industrial Statistics, Electricity Indicators Report for 2023.

[5] Noviati N.D., Maulina S.D., & Smith S. (2024). Smart Grids: Integrating AI for Efficient Renewable Energy Utilization. https://doi.org/10.33050/italic.v3i1.644.

[6] Dushing P.L., Wakhure P.G., Kazi S., Ramteke S.S., Kasar A.B., Wasu S., & Waghmode S.S. (2024). Analysis of Smart Grid Technologies in the Electrical Power Industry. Nanotechnology Perceptions, 1351–1358. https://doi.org/10.62441/nano-ntp.vi.3905.

[7] Biswas P., Rashid A., Al Masum, Abdullah, Al Nasim M.A., Ferdous A.S.M.A., Gupta K.D., & Biswas A. (2025). An Extensive and Methodical Review of Smart Grids for Sustainable Energy Management-Addressing Challenges with AI, Renewable Energy

Integration and Leading-edge Technologies. https://doi.org/10.48550/arxiv.2501.14143.

[8] Al-Shetwi A.Q., Hannan M.A., Al-Masri H.M.K., & Sujod M.Z. (2024). Latest advancements in smart grid technologies and their transformative role in shaping the power systems of tomorrow: An overview. Progress in Energy. https://doi.org/10.1088/2516-1083/ada198.

[9] Michael Thompson, The role of smart grids in a sustainable energy future, 26 December 2024https://sigmaearth.com/ar/the-role-of-smart-grids-in-a-sustainable-energy-future/.

[10] Olatunde T.M., Okwandu A.C., Akande D.O., & Sikhakhane Z.Q. (2024). The impact of smart grids on energy efficiency: a comprehensive review. https://doi.org/10.51594/estj.v5i4.1016.

[11] A Complete Guide to Smart Grid Technology. (2024). Available at: https://blog.emb.global/power-of-smart-grid-technology/. (Accessed 13. Feb 2025).

[12] Smart Utilities Market Size, Review & Forecast 2032 | MRFR. (2024). Available at: https://www.marketresearchfuture.com/reports/smart-utilities-market-38197. (Accessed 13. Feb 2025).

[13] The Economics: How Can Smart Grids Be Financed? | CLOU GLOBAL. (2024). Available at: https://clouglobal.com/the-economics-how-can-smart-grids-be-financed/. (Accessed 13. Feb 2025).

[14] Al-Ghabera Hassan, et al. "Challenges and Opportunities in Implementing Renewable Energy in Iraq." International Journal of Education, Science, Technology, and Engineering (IJESTE) 7.2 (2024): 64-74.

[15] NSRDB: National Solar Radiation, Databasehttps://nsrdb.nrel.gov/data-viewer.

[16] H.J. Mohammed, Q.A. Ali, B.H. Rasool and A.H. Al-Denenawe, "Analysis of the Operating Mode for the Photovoltaic Module by Experimental Methods," 2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElCon), Saint Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 831-834, doi: 10.1109/ElCon61730.2024.10468463.