

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Быстрых С.В.

Научный руководитель: ст. преподаватель Любчик О.А.
Белорусский национальный технический университет

Исследованию возобновляемых источников энергии уделяют внимание ученые многих стран. Ряд ученых изучали и вопросы эффективности работы солнечных и ветровых электростанций, а также перспективность их совместного использования для выравнивания неравномерности генерации.

Проведем краткий литературный обзор проведенных в данной области исследований.

Для начала проанализируем статистику, предоставленную Международным агентством по возобновляемым источникам энергии (IRENA) [1]. На рисунке 1 приведены результаты расчета среднемирового коэффициента использования установленной мощности для энергетических установок, работающих за счет ветра и солнца (для ветра учтены только установки, расположенные на суше).

Как видно из рисунка, КИУМ ветроэнергетических установок значительно выше, он колеблется в период с 2016 по 2022 годы в пределах 0,23–0,26. В то время как для аналогичного промежутка времени КИУМ солнечных энергоустановок составляет лишь 0,12–0,14.

Высокие темпы роста показывает ветроэнергетика Бразилии, как выявил в своем исследовании В.П. Клавдиенко [2].

Коэффициент использования установленной мощности, характеризующий эффективность работы ветроэнергетических установок, в ветропарках Бразилии является одним из самых высоких в мире: 40–50%, а на северо-востоке страны, где имеются наиболее благоприятные условия для использования энергии ветра, он достигает 58,4–60,8%.

Об эффективности работы ветроэнергетических установок рассказали и белорусские энергетики. Согласно мониторингу, в 2019 году коэффициент использования установленной мощности по ветропарку РУП «Гродно-энерго», расположенного в Новогрудском районе, составил 0,31, что выше среднемировых значений. А для одной из ветроэнергетических установок он оказался равен 0,34 [3].

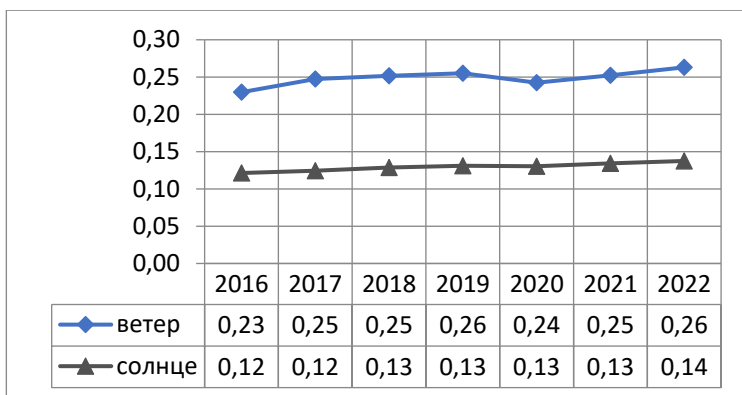


Рисунок 1. Динамика среднемирового КИУМ энергетических установок, работающих за счет ветра и солнца

Касательно солнечной энергетики белорусские исследователи В.И. Ру-сан и Д.М. Казакевич после проведенного анализа пришли к выводам о том, что «потенциальная эффективность использования солнечных батарей на территории Беларуси только за счет благоприятных условий инсоляции

- более чем на 10% выше, чем в Польше, Нидерландах;

- более чем на 17% выше, чем в Германии, Бельгии, Дании, Ирландии, Великобритании;

- еще выше относительно стран расположенных севернее и северо-западнее Республики Беларусь [4].

Стоит отметить, что в данном исследовании не проводилось сравнение со среднемировыми значениями.

Эффективность совместного использования солнечных и ветровых электростанций на основе 36 лет глобальный по часовых данных о погоде (1980–2015 гг.) изучали Мэтью Р. Шенер, Дэвис и С. Льюис [5]. В своем исследовании они исходили из наличия минимальной избыточной генерации данными электростанциями. Анализ показал, что системы с большой долей солнечной и ветряной генерации могут обеспечить до 80 % годового спроса на электроэнергию в США. Однако для надежного полного удовлетворения годового спроса на электроэнергию по причине наличия сезонные циклы и непредсказуемых погодных явлений требуется до нескольких недель хранения энергии и/или установки гораздо большей мощности солнечной и ветровой энергии, чем это обычно необходимо для удовлетворения пикового спроса.

Выделив в своей статье [6] главное преимущество ветроэнергетики – ее чистоту ввиду отсутствия выбросов парниковых газов, Я. Алиари и

А. Хагани отметили и главный, на их взгляд, недостаток ветряной генерации: она не является надежным источником энергии. Авторы обращают внимание, что краткосрочное прогнозирование скорости ветра и, следовательно, оценка количества получаемой энергии не могут быть сделаны с достаточной точностью. Поэтому энергия ветра, в основном, рассматривается как возможность экономии топлива, а не как полноценный источник энергии. Одним из наиболее эффективных методов смягчения этого недостатка исследователи считают хранение энергии. Очевидно, что эти решения увеличивают удельную стоимость энергии, вырабатываемой с помощью ветра. Однако устойчивый прогресс в области ветроэнергетических технологий, а также коммерческое и крупномасштабное производство оборудования для генерации ветровой энергии наряду с учетом экологических преимуществ, привели к конкурентоспособным ценам на ветровую энергию в последние годы. Исследования показали, что до 20 % общего спроса на электроэнергию может быть обеспечено за счет ветроэнергетики практически без необходимости принятия дополнительных мер для обеспечения надежности электроснабжения.

Вопрос о потенциале гибридных возобновляемых электростанций, путем объединения существующих ветровых и солнечных электростанций в комплексы изучали А. Коуто и А. Эстанкейро [7]. Авторы считают, что гибридные электростанции должны использовать преимущества существующей синергии, например, взаимодополняемость генерации среди возобновляемых технологий генерации, и извлекать выгоду из использования существующих инфраструктур и одной и той же точки подключения к сети. Результаты показали высокий потенциал гибридных электростанций: уровни взаимодополняемости между ветровыми и солнечными ресурсами высоки в глобальном масштабе, что позволяет увеличить долю возобновляемых источников энергии с переменным погодозависимым характером работы по сравнению со сценариями чрезмерного размещения дополнительных мощностей ветроэнергетики.

Проводя свои исследования Ф. Тафарте, М. Эйххор и Д. Трейн отмечают, что ветровые и солнечные фотоэлектрические системы стали самыми дешевыми возобновляемыми альтернативами, однако ветер и солнце являются переменными возобновляемыми источниками энергии, а их характеристики создают новые проблемы для энергосистем и для перехода к энергоснабжению на основе возобновляемых источников энергии [8]. Они провели расчеты численной оптимизации. В дополнение к обычным схемам ветряных и солнечных фотоэлектрических систем модель включала возможность хранения электроэнергии. Однако авторы отмечают, что важным аспектом является оптимизация сочетания мощностей ветряных и солнечных фотоэлектрических установок. Оптимизация их долей позволяет

использовать взаимодополняющие модели производства электроэнергии на ветряных и солнечных фотоэлектрических установках в различных временных масштабах. Напротив, достижение высоких долей возобновляемых источников энергии в энергобалансе с использованием преимущественно либо ветра, либо солнечных фотоэлектрических установок по отдельности приводит к более высокой изменчивости электроснабжения.

Поиск новых первичных источников энергии стал главным приоритетом в большинстве стран Латинской Америки. В. Гарсия-Хеллер, Р. Эспинаса и С. Паредес [9] выяснили, что Мексика обладает огромным еще неиспользованным потенциалом возобновляемых источников энергии. В одном из своих исследований [9] они смоделировали выработку электроэнергии солнечной и ветровой электростанцией. Выработка электроэнергии по дням в течение года для Мексики представлена на рисунке 2. Здесь ярко заметен пик производства электроэнергии солнечной электростанциями с апреля по сентябрь.

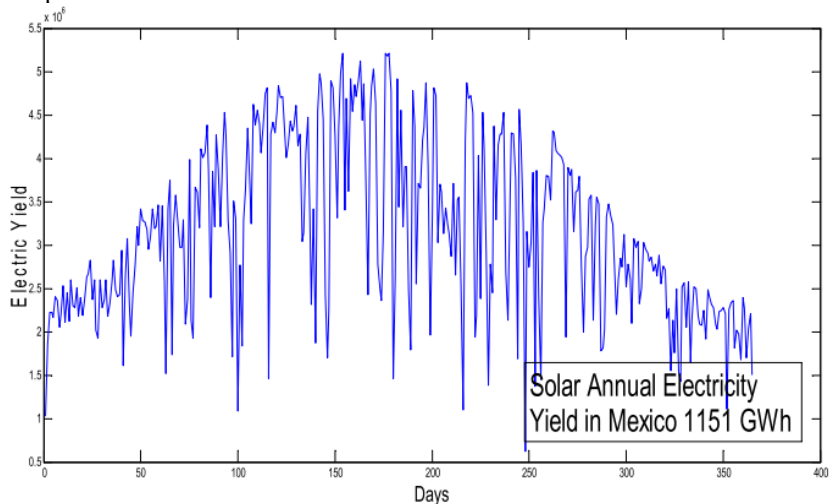


Рисунок 2. Выработка электроэнергии солнечной электростанцией в Мексике по дням года (моделирование) [9]

На рисунке 3 показаны результаты моделирования по выработке электроэнергии ветряными электростанциями в Мексике. Здесь, напротив, максимум достигается в период с ноября по март.

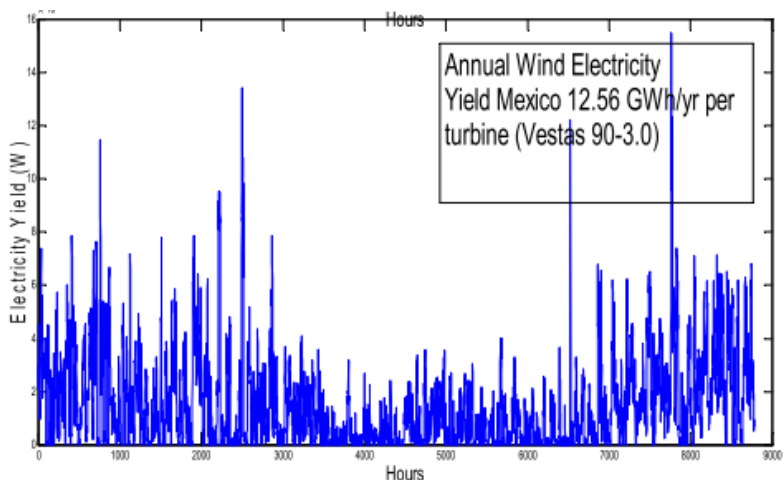


Рисунок 3. Выработка электроэнергии ветровой электростанцией в Мексике по дням года (моделирование) [9]

Полученные результаты свидетельствуют о возможности взаимного сглаживания неравномерности выработки электроэнергии данными энергоисточниками. Однако возможность совместной их работы в данном исследовании не изучалась, как и потенциальный положительный синергетический эффект.

Исходя из рассмотренных выше исследований, можно заключить, что эффективность использования возобновляемых источников энергии, таких как солнце и ветер, в условиях Республики Беларусь потенциально достаточно высока для их активного использования, а вопросы совместного использования данных источников энергии для компенсации неравномерности выработки электроэнергии изучены мало.

Для Республики Беларусь было произведено моделирование на основе почасовых метеоданных для 18 населенных пунктов за 6-летний период. В ходе анализа КИУМ были выявлены тенденции, позволяющие сделать вывод, что солнечные и ветровые электростанции могут компенсировать сезонные колебания друг друга в производстве электроэнергии. Аналогичные тенденции были выявлены и в суточном разрезе. Предложен диапазон соотношений, при котором наблюдается наилучшая взаимная компенсация в суточном разрезе.

По результатам моделирования, диапазон рекомендуемого соотношения установленных мощностей солнечных и ветряных электростанций составил от 0,4:1,0 до 0,6:1,0. Комплексы энергоисточников, имеющие соотношение мощностей в указанном диапазоне, позволяют снизить требуемую емкость

систем накопления энергии по сравнению с емкостью системой накопления энергии только для солнечных или только для ветряных электростанций, что ведет к снижению капитальных затрат и срока окупаемости проекта [10].

Литература

1. Renewable energy Technologies [Electronic resource] // International Renewable Energy Agency. – Mode of access: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Technologies>. – Date of access: 06.09.2023.

2. Клавдиенко В.П. Возобновляемая энергетика: мировые тенденции развития / В.П. Клавдиенко // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2020. – №. 2. – С. 147-160.

3. Шесть районов Гродненщины полностью обеспечены «чистой» энергией [Электронный ресурс]: Департамент по энергоэффективности – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/news/news_2020/20201028_news1. – Дата доступа: 23.06.2024

4. Солнечная энергетика: состояние и перспективы ее использования в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : EnergoBelarus. – Режим доступа:

https://energobelarus.by/articles/alternativnaya_energetika/solnechnaya_energetika_sostoyanie_i_perspektivy_ee_ispolzovaniya_v_respublike_belarus/. – Дата доступа: 18.04.2024.

5. Shaner, M. R. et al. Geophysical constraints on the reliability of solar and wind power in the United States / M.R. Shaner [et al.] // Energy & Environmental Science. – 2018. – Vol. 11. – №. 4. – P. 914-925.

6. Aliari, Y. Planning for integration of wind power capacity in power generation using stochastic optimization / Y. Aliari, A. Haghani // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Т. 59. – С. 907-919.

7. Couto, A. Assessment of wind and solar PV local complementarity for the hybridization of the wind power plants installed in Portugal / A. Couto, A. Estanqueiro // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 319. – P. 128728.

8. Tafarte, P. Capacity expansion pathways for a wind and solar based power supply and the impact of advanced technology – A case study for Germany / P. Tafarte, M. Eichhorn, D. Thrän // Energies. – 2019. – Vol. 12. – №. 2. – P. 324.

9. Garcia-Heller, V. Forecast study of the supply curve of solar and wind technologies in Argentina, Brazil, Chile and Mexico / V. Garcia-Heller, R. Espinasa, S. Paredes // Renewable Energy. – 2016. – Vol. 93. – P. 168-179.

10. Любчик О.А. Минимизация влияния возобновляемых источников энергии на работу энергосистемы путем совместного использования

солнечной и ветряной генераций / О.А. Любчик, С.В. Быстрых, А.Н. Казак // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2023. – Т. 66. – №. 5. – С. 423-432.

НАГЛЯДНО -ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Войцеховский А.Н.

Научный руководитель: ст. преподаватель Жук Н.П.
Белорусский национальный технический университет

В образовательном процессе остро стоит вопрос взаимосвязи теоретических знаний с практическими навыками. Одним из эффективных способов такого взаимодействия является наглядная демонстрация природных процессов. Проблема визуализации особенно актуальна в физике, где сложные явления – такие как тепломассообмен, электромагнетизм, динамика жидкостных потоков и работа конструктивно сложных агрегатов – требуют специальных методов для наглядного представления.

В данной работе основное внимание уделяется объяснению процессов электромагнетизма в асинхронных электродвигателях. Существует множество теоретических схем, проекций и аксонометрических изображений, призванных показать, каким образом магнитное поле способствует вращению ротора электродвигателя. Различные видеоролики с анимациями также помогают раскрыть суть данного эффекта. Однако даже эти учебные материалы не всегда способны передать всю сложность взаимодействия магнитных полей, учитывая их природную невидимость.

Возникла идея создания наглядной модели рабочей части электродвигателя. Модель демонстрирует механизм вращения ротора под воздействием вращающегося магнитного поля статора, позволяя наблюдать и анализировать ключевые процессы в режиме реального времени.

Учебная модель состоит из нескольких основных элементов. Основа конструкции поддерживает вращающуюся рамку-магнитопровод, на которую установлены неодимовые магниты. Медный наборный ротор, закрепленный на подшипниках, позволяет моделировать работу различных типов электродвигателей с переменным количеством рамок ротора и возможностью изменения числа пар полюсов статора. Такая модульность обеспечивает гибкость в демонстрации и позволяет адаптировать модель под различные образовательные задачи.

Для определения основных размеров и параметров учебной модели использованы современные технологии компьютерного твердотельного