

УДК 620.92 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-22-91-100

ТЕХНИКА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СОЛНЕЧНО-ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Абдали Л. М.¹, Али К.А.², Кувшинов В.В.³, Бекиров Э.А.⁴, Коровкин Н. В.⁵

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ, laith_2210@yahoo.com

²ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Институт энергетики г. Санкт-Петербург, РФ, qaysadnanali153@gmail.com

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, РФ, 299015, kuvshinov.vladimir@gmail.com

⁴ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь, РФ, bekirov.e.a@cfuv.ru

⁵ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Институт энергетики г. Санкт-Петербург, РФ, Nikolay.korovken@gmail.com

Аннотация: Использование возобновляемых источников энергии играет незаменимую роль в отдаленных районах, где электросеть недоступна. Фотоэлектрическое преобразование энергии (ФЭ) и преобразование энергии ветра основные виды используемых возобновляемых источников энергии. Гибридные системы считаются наиболее эффективным решением для удаленных районов, не подключенных к централизованной энергосети.

Возобновляемая энергия привлекает внимание исследователей во всем мире. Основная задача состоит в том, чтобы объединить различные существующие источники в единую модель, чтобы извлечь пользу каждого из них, одновременно дополняя недостатки друг друга. Возможности управления комбинированными гибридными системами на основе возобновляемых источников энергии в настоящий момент досконально не изучены. Для увеличения выработки электрической энергии и снижения потерь при работе этих систем необходимо проводить исследования, направленные на улучшение взаимодействий отдельных узлов предложенных систем генерации и улучшение методик расчетов гибридных энергетических установок. Комплексное использование систем солнечной и ветровой генерации способно значительно улучшить энергетические характеристики и увеличить выработку электрической энергии.

В этой работе предлагается метод интеграции солнечной фотоэлектрической системы, ветряной турбины и дизельного генератора, подключенных к нагрузке. К системе также подключается дополнительная нагрузка для поглощения избыточной мощности. Модель гибридной системы была разработана в MATLAB/Simulink. Был разработан контроллер на основе системы адаптивного нейро-нечеткого вывода, и система проанализирована с точки зрения выработки и потребления энергии. Полученные результаты показывают степень увеличения надежности и стабильности работы системы.

Предмет исследования. Анализ технического оборудования для производства энергии и управления гибридной энергетической системой.

Материалы и методы. В данной статье выполняется моделирование гибридной системы, состоящей из солнечной фотоэлектрической системы, ветряного генератора, дизельного генератора и нагрузки потребителя. Был разработан контроллер на основе системы адаптивного нейро-нечеткого вывода, и система проанализирована с точки зрения выработки и потребления энергии.

Результаты. Был разработан контроллер на основе системы адаптивного нейро-нечеткого вывода. Результаты были обнадеживающими при анализе предложенной гибридной системы с точки зрения производства и потребления энергии.

Выводы. По результатам можно сделать вывод, что эффективность гибридных установок с аналогичными программными блоками Simulink может быть увеличена. В исследованиях приоритет отдается возобновляемым источникам энергии для выработки электроэнергии, тогда как дизельный генератор работает в случае дефицита электроэнергии, то есть при увеличении нагрузки для получения баланса энергии.

Ключевые слова: солнечно-ветровая система, дизельная электрическая установка, система управления, фотоэлектрическая панель, ветряная турбина, гибридное производство энергии, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), компьютерное моделирование

ВВЕДЕНИЕ

В отдаленных районах, таких как острова, горы и пустыни, выработку электрической энергии обычно обеспечивают генераторы, потребляющие ископаемое топливо. В большинстве случаев производство электроэнергии с использованием ископаемого топлива является относительно дорогим и сопряжено с выделением значительного количества CO₂ и иных загрязняющих окружающую среду веществ, в то время как транспортировка и

хранение такого топлива в отдаленных районах также сопряжена с рядом трудностей [1]. Гибридные системы на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включающие источники солнечной и ветровой энергии, предлагают новые решения для удаленных районов вне энергосистемы и обеспечивают значительное снижение выбросов [2-4].

Хотя эти источники энергии в соответствующей комбинации, используют сильные стороны одного для компенсации слабых сторон другого, они могут вызвать ненадежное энергоснабжение из-за

непредсказуемых погодных и климатических изменений. Таким образом, для решения проблемы надежных автономных систем выработки электроэнергии гибридные системы, состоящие из обычных генераторов и возобновляемых источников энергии, привлекают внимание производителей энергии и теперь широко используются для обеспечения электроэнергией отдаленных районов [5].

Одним из важных вопросов для гибридных систем генерации энергии является оптимизация размера компонентов для оптимального набора автономных ветряных и фотоэлектрических систем, оптимальное количество и тип блоков было определено путем минимизации общей стоимости системы, для обеспечения их экономичности и экологичности [6]. Также были предложены различные подходы для оптимизации размеров гибридных систем выработки электроэнергии. Гибридная ветровая и фотоэлектрическая система генерирования энергии обычно разрабатывалась как автономная или подключенная к сети. Оптимальное сочетание ветровой и фотоэлектрической генерации в сочетании с аккумулятором было использовано для удовлетворения годовой нагрузки [7-9]. В соответствии с различными сценариями энергопотребления было проведено экономическое обоснование использования ВИЭ по сравнению со строительством ЛЭП от ближайшей подстанции для снабжения мощностью нагрузки [10].

Что касается оптимального размера автономных ветряных и фотоэлектрических систем, оптимальное количество и тип блоков было определено путем минимизации общей стоимости системы за 20 лет при ограничении требований к энергии нагрузки [11]. Следует отметить, что минимизация функции стоимости проводилась с использованием специальных алгоритмов, которые позволяют достичь почти оптимального или хорошего решения при относительной простоте вычислений [12,13]. Для других алгоритмов оптимизации размера для аналогичных гибридных систем выработки электроэнергии алгоритм оптимизации роя частиц с точки зрения скорости и сходимости к хорошему решению превосходил традиционно генетические алгоритмы, которые использовались в литературе [14], при этом был использован алгоритм моделирования отжига для минимизации общей стоимости гибридной энергетической системы, которая позволила получить лучшие результаты, чем методология поверхности отклика [15-17]. На рисунке 1 приведена схема гибридной системы возобновляемых источников энергии.

В данной работе было выполнено моделирование и симуляция гибридной системы, состоящей из солнечной фотоэлектрической системы, ветряного генератора, дизельного генератора и нагрузки потребителя. Был разработан контроллер на основе системы адаптивного нейронечеткого вывода, и система проанализирована с точки зрения выработки и потребления энергии.

Предлагаемый метод обеспечивает надежность и точность управления.

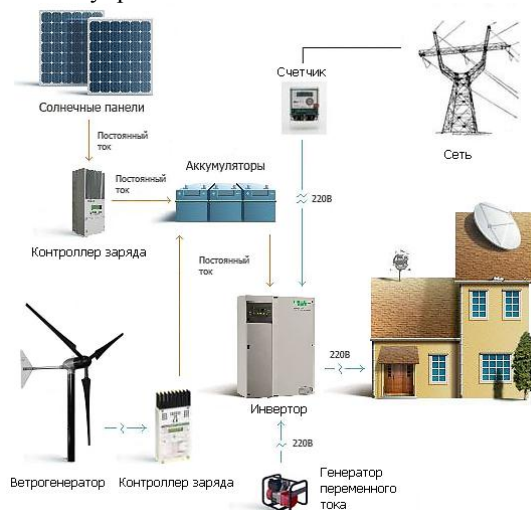


Рис. 1. Принципиальная схема автономной гибридной системы возобновляемой энергии PV / ветер / дизель [18].

Fig. 1. Schematic diagram of an autonomous hybrid renewable energy PV / wind / diesel system [18].

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ

Конфигурация, используемая в этой работе, состоит из ветроэнергетических и фотоэлектрических подсистем, дизельного генератора, аккумуляторной батареи, контроллера заряда, двунаправленного преобразователя, а также основной и фиктивной нагрузки, как показано на рис. 1. Отправка этой конфигурации осуществляется легко доступным способом, поскольку основная нагрузка подается в основном от ветряных турбин и фотоэлектрической батареи через двунаправленный преобразователь. Избыточная мощность от подсистемы энергии ветра и / или подсистемы фотоэлектрической энергии сверх потребности нагрузки сохраняется в блоке батарей до тех пор, пока батареи не будут полностью заряжены. Если аккумуляторная батарея заполнена, избыточная мощность (т.е. фиктивная мощность) будет использоваться для питания определенных специальных нагрузок, таких как нагрузки для охлаждения и обогрева, перекачивания воды и зарядка батарей аварийного освещения. Когда требуемая мощность превышает генерируемую мощность, недостаточная мощность будет компенсироваться батареями до тех пор, пока они не достигнут состояния заряда. Когда аккумуляторная батарея разряжена и гибридные системы возобновляемой энергии не могут удовлетворить потребность в нагрузке, используется дизельный генератор. Для обеспечения хорошей производительности гибридных систем возобновляемой энергии [19].

I. Ветряная турбина

В данном исследовании была выбрана ветряная турбина. Номинальная мощность турбины 210 кВт при скорости ветра 12 м/с. В таблице 1 выделены проектные характеристики этого компонента. Приведены минимальная и максимальная скорость ветра для работы ветряной турбины, срок ее службы и другие параметры. Кривая мощности на рис. 2 описывает количество мощности, производимой турбиной, как функцию скорости ветра на высоте ступицы. Выходная мощность ветряной турбины сильно зависит от скорости ветра. Для расчета энергии, производимой ветряной турбиной, применялись различные модели. В этой работе была выбрана квадратичная модель, проиллюстрированная формулой (1).

$$P_w(V_v) = \begin{cases} P_n & V_d < V_v < V_n \\ P_n & V_n \leq V_v \leq V_c \\ 0 & V_v \leq V_d \text{ et } V_v \geq V_c \end{cases} \quad (1)$$

где P_w – мощность, вырабатываемая ветряной турбиной, P_n – номинальная мощность, V_d – скорость ветра при включении, V_n – номинальная скорость ветра, а V_c – скорость ветра при отключении. Регулировка профиля ветра по высоте учитывается с помощью степенного закона, который является полезным инструментом для моделирования вертикального профиля скорости ветра. Модель, которая проиллюстрирована в формуле (2) используется для оценки скорости ветра [20,21].

$$V(H) = V(H_m) \left(\frac{H}{H_m} \right)^\sigma \quad (2)$$

где $V(H)$ – скорость ветра, измеренная на высоте ступицы H_m , $V(H_m)$ – скорость ветра, измеренная на исходной высоте H_m , и σ – коэффициент степенного закона распределения скорости ветра.

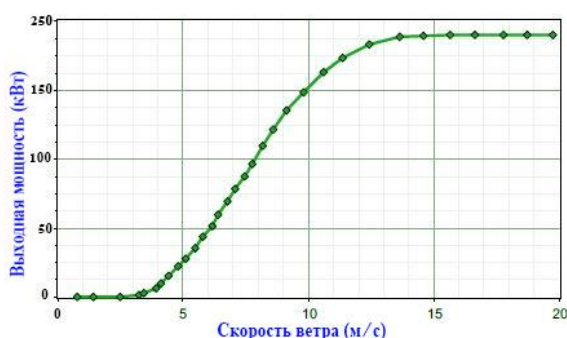


Рис. 2. Заводские характеристики ветротурбины.
Fig. 2. The manufacturer properties of the wind turbine.

II. Фотоэлектрические модули

Выходная мощность фотоэлектрической подсистемы может быть определена по солнечному излучению, падающему на наклонную поверхность, данным производителя фотоэлектрических модулей и температуре окружающей среды как: [22]

$$P_{PV} = H_t PVA \mu_c(t) \quad (3)$$

где H_t – излучение, падающее на наклонную поверхность, PVA – это общая площадь солнечных элементов, а $\mu_c(t)$ – мгновенная эффективность генерации фотоэлектрических модулей, $\mu_c(t)$ можно получить через температуру ячейки как:

$$\mu_c(t) = \mu_{cr} [1 - \beta_t(T_c(t) - T_{cr})] \quad (4)$$

здесь β_t – температурный коэффициент в диапазоне от 0,004 до 0,006 /°C для кремниевых элементов. В данной статье β_t принимается равным 0,004 /°C. μ_{cr} и T_{cr} – теоретические КПД и температура солнечного элемента соответственно. $T_c(t)$ – мгновенная температура солнечного элемента при температуре окружающей среды [23].

На рис. 3 выделена интенсивность солнечного излучения для лучшего понимания работы и управления гибридной электростанцией.

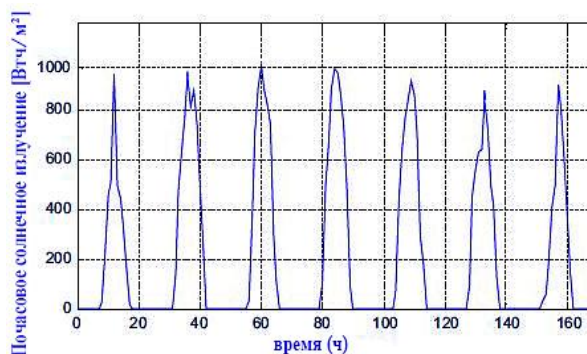


Рис. 3. Данные солнечной радиации за неделю.
Fig. 3. Data of solar radiation for the week.

III. Дизельный генератор

Дизель-генератор включен в качестве резервного источника в гибридные системы возобновляемой энергии для обеспечения дефицита электроэнергии, который не могут обеспечить ветровые, фотоэлектрические подсистемы и аккумуляторы [24].

Дизель-генератор состоит из двух основных частей: генератора и тягового двигателя. Первичный двигатель обеспечивает требуемую мощность с постоянной частотой, а синхронный генератор помогает поддерживать постоянное напряжение при всех условиях нагрузки. Частота поддерживается на постоянном уровне за счет поддержания постоянной скорости ротора с помощью регулятора. Синхронный генератор регулирует ток возбуждения, который, в свою очередь, регулирует выходное напряжение. Изменение частоты указывает баланс активной мощности, поддерживаемый регулятором, а изменение напряжения указывает баланс реактивной мощности, поддерживаемый посредством возбуждения генератора [25].

Проектирование базового контроллера

Система нейро-нечеткого вывода представляет собой графическое сетевое представление систем нечеткого вывода типа Сугено, которые имеют возможности нейронного обучения. Сеть имеет различные узлы с определенными функциями, собранными в слоях. Систему нечеткого вывода можно обучить и настроить с помощью системы нейро-нечеткого вывода. В процессе обучения функции принадлежности оптимизируются на основе входных/выходных данных [26].

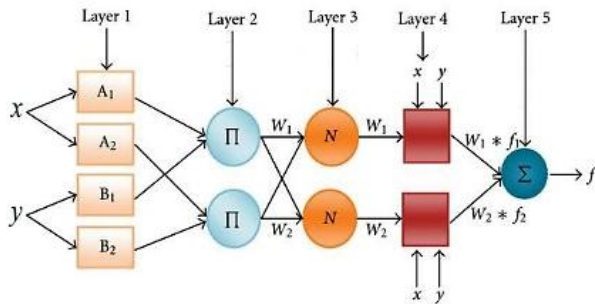


Рис. 4. Принципиальная схема предлагаемой методологии системы нейро-нечеткого вывода

Fig.4. Schematic diagram of the proposed methodology of the neuro-fuzzy inference system

Структура сети системы нейро-нечеткого вывода показана на рис.4. Он обычно состоит из пяти слоев. Для проектирования выход пропорционально-интегрального (PI) контроллера берется в качестве входного обучающего набора данных для системы нейро-нечеткого вывода [27].

Моделирование

Модель гибридной системы разработана и проведено моделирование с помощью MATLAB / Simulink 20a. Контроллер для системы разработан на основе системы адаптивного нейро-нечеткого вывода с помощью наборов инструментов нечеткой логики. Выходная мощность ветряной турбины составляет примерно 225 кВт при скорости ветра 12 м/с, но из-за потерь, возникающих в асинхронной машине, она вырабатывает 205 кВт. Мощность солнечной фотоэлектрической системы зависит от солнечного излучения и температуры (30 °C). Солнечное излучение выбрано как постоянное значение освещенности. Нагрузка удовлетворяется таким образом, чтобы максимальная мощность извлекалась из возобновляемых источников энергии, при этом потреблялась наименьшая мощность из дизельного генератора для поддержания баланса мощности. Дизель-генератор используется для поддержания баланса мощности в случае колебаний нагрузки или во время пикового потребления. Также подключается дополнительная нагрузка для поглощения избыточной мощности в случае, если выработка превышает потребность. Моделирование проводится с целью проверки предложенной модели. Полная модель MATLAB/Simulink показана на рисунке 5.

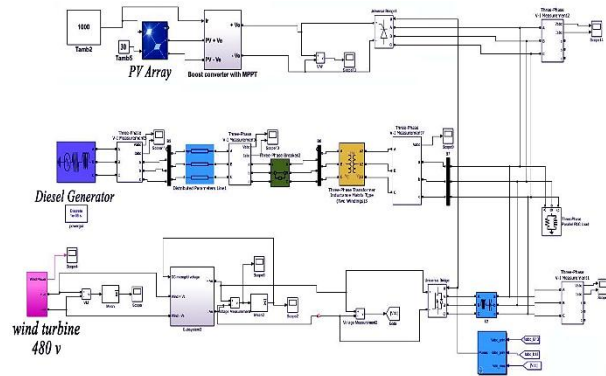


Рис. 5. Предлагаемое моделирование гибридной системы генерации солнечной / ветровой / дизельной энергии в Matlab

Fig.5. The proposed simulation model of the solar/wind/diesel hybrid power generation system in Matlab

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Постоянная нагрузка в гибридной системе

На рис. 6 показана мощность, вырабатываемая системой ветряной турбины при подключении постоянной нагрузки 500 кВт. При первоначальном запуске ветряного генератора в системе возникают колебания. В момент времени $t = 0,3$ система переходит в установившееся состояние и вырабатывает номинальную мощность, то есть 205 кВт. На рисунке 7 показана мощность, вырабатываемая солнечной фотоэлектрической системой. Фотоэлектрическая система вырабатывает 270 кВт. На рис.8 показана мощность, вырабатываемая дизельным генератором. При внезапном приложении нагрузки дизель сначала вырабатывает больше мощности, но после $t = 0,2$ с система подает в систему мощность 55 кВт. Таким образом, генерация из всех трех источников удовлетворяет потребность в нагрузке. Избыточная мощность потребляется дополнительной нагрузкой, таким образом, сохраняется баланс сил. Частота колеблется от 50,4 Гц до 49,8 Гц и стабилизируется до 50 Гц через $t = 0,3$ с, как показано на рисунке 9.

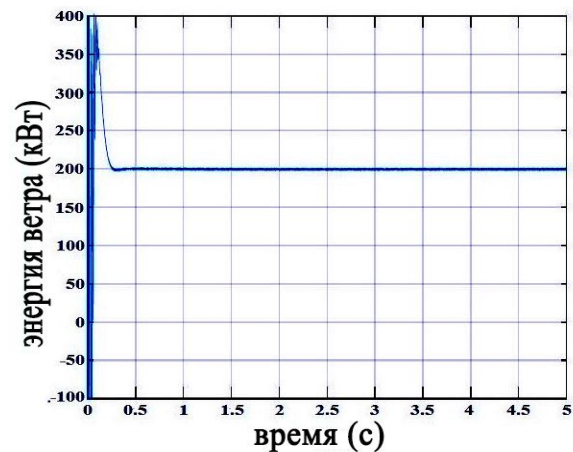


Рис. 6. Результаты моделирования ветровой энергии, вырабатываемой системой ветряных турбин.

Fig.6. Simulation results for wind power generated by the wind turbine system.

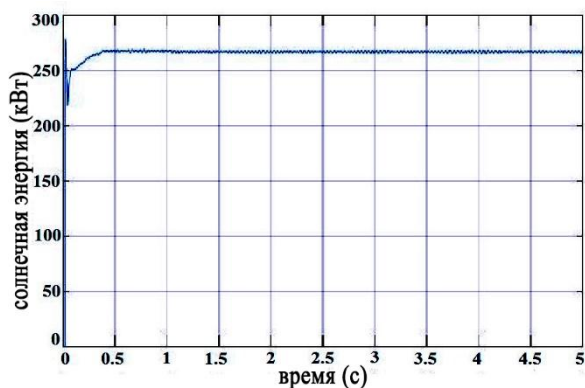


Рис. 7. Результаты моделирования солнечной энергии, вырабатываемой фотоэлектрической системой
Fig.7. Simulation results for solar Power generated by the PV system

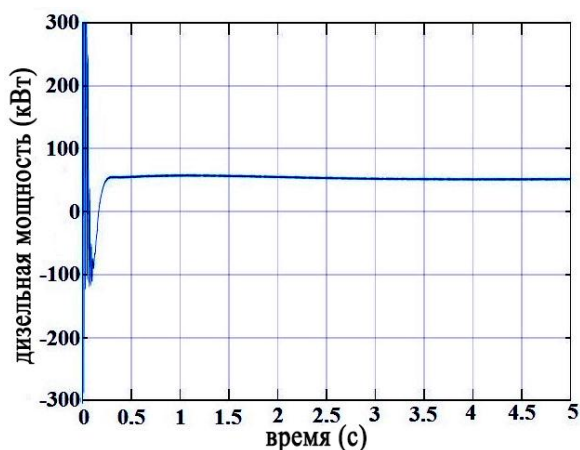


Рис. 8. Результаты моделирования мощности, вырабатываемой системой дизель-генератора.
Fig.8. Simulation results for power generated by the diesel generator system

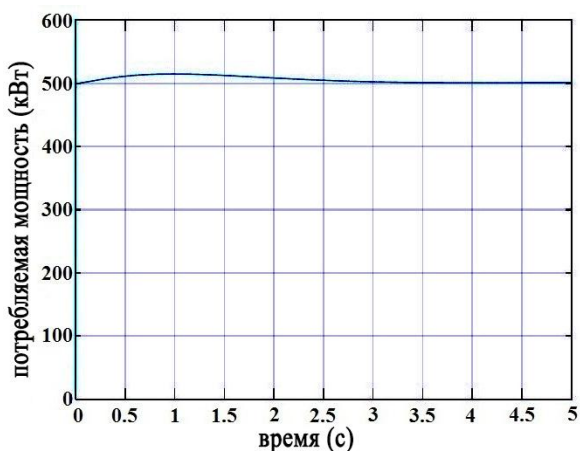


Рис. 9. Результаты моделирования потребляемой мощности от нагрузки (кВт).
Fig.9. The simulation results for the consumed Power from load (kW).

При изменении нагрузки в гибридной системе

На рис.10 показана мощность, вырабатываемая ветряной турбиной. При $t = 2,1$ с к системе добавляется дополнительная нагрузка в 100 кВт, то есть общая нагрузка, подключенная к системе, теперь увеличивается до 600 кВт.

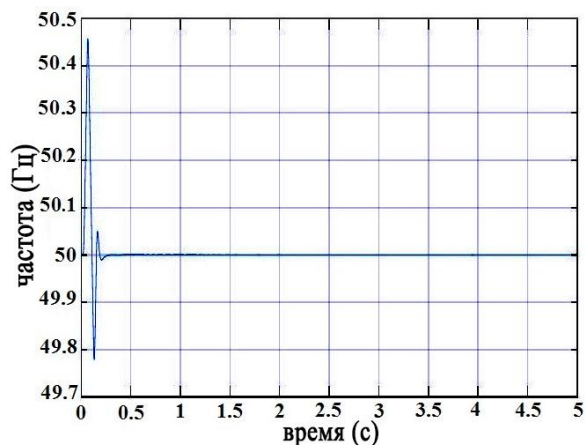


Рис. 10. Результаты моделирования потребляемой мощности от нагрузки (кВт).
Fig.10. The simulation results for the consumed Power from load (kW).

Генератор ветряной турбины, солнечная фотоэлектрическая система и дизельный генератор вырабатывают энергию таким образом, что вырабатываемая мощность равна потребляемой мощности. Во время резкого увеличения или уменьшения нагрузки дизельный генератор действует как резервный источник питания и обеспечивает недостающую мощность. Формы сигналов генерируемой и подаваемой мощности показаны на рисунках с 11 по 14.

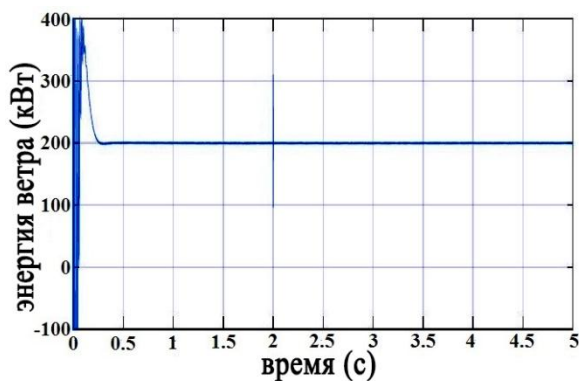


Рис. 11. Результаты моделирования ветровой энергии, вырабатываемой системой ветряных турбин при возрастании нагрузки.
Fig.11. Simulation results for wind power generated by the wind turbine system during rising load.

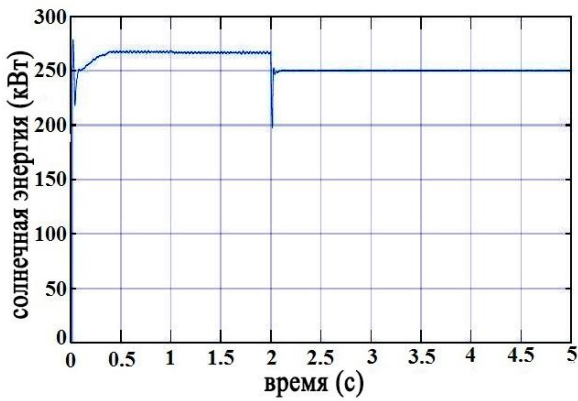


Рис. 12. Результаты моделирования солнечной энергии, вырабатываемой фотоэлектрической системой во время роста нагрузки.

Fig.12. Simulation results for solar Power generated by the PV system during rising load.

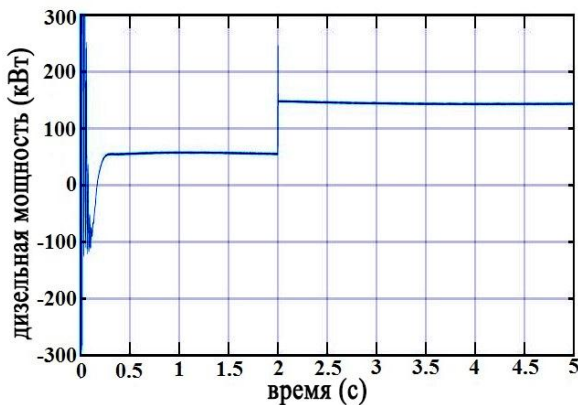


Рис. 13. Результаты моделирования мощности, вырабатываемой системой дизель-генератора при возрастании нагрузки.

Fig.13. Simulation results for power generated by the diesel generator system during rising load

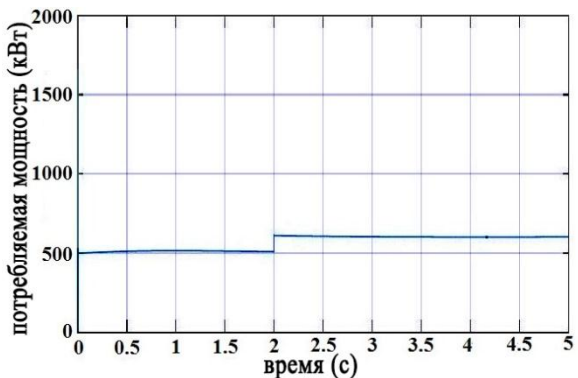


Рис. 14. результаты моделирования потребляемой мощности от нагрузки (кВт).

Fig.14. the simulation results for the consumed Power from load (kW).

Производство энергии каждым компонентом показано на рис 15. Наблюдается равномерная нагрузка около 510 кВт ч в месяц. Основная часть этого количества (около 465 кВт ч) обеспечивается возобновляемой системой, включая

фотоэлектрическую и ветровую. Средняя доля электроэнергии от каждого компонента гибридной электростанции выделена на рис. 15. Ожидается, что фотоэлектрическая энергия обеспечит около (49,9%), в то время как ветряная турбина занимает второе место с (39,1%). Дизель-генератор используется только для восполнения дефицита мощности. Поэтому доля электроэнергии в нем не превышает 11%. Это означает, что гибридная система экономит около 89% ископаемого топлива. Таковую же долю составляет сокращение выбросов парниковых газов, а также при увеличении нагрузки в системе дизель-генератор будет компенсировать нехватку производимой энергии.

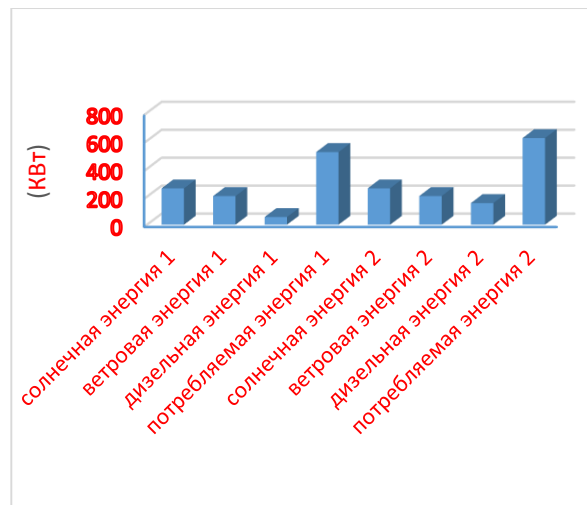


Рис. 15. Производство энергии каждой частью гибридной системы по сравнению с потреблением энергии.

Fig.15. The amount of energy produced by each component of the hybrid system vs. the amount of energy consumed.

Можно повысить надежность системы, используя аккумулятор. В работе также анализируется аккумуляторный блок. На рис. 16 и рис.17 представлено состояние заряда аккумулятора. Рис. 16 иллюстрирует нагрузку батареи в течение года. Состояние заряда батареи через неделю показано на рис. 17. Было замечено, что цикл заряда-разряда относительно невелик из-за дизельного генератора, и это увеличивает срок службы батареи.

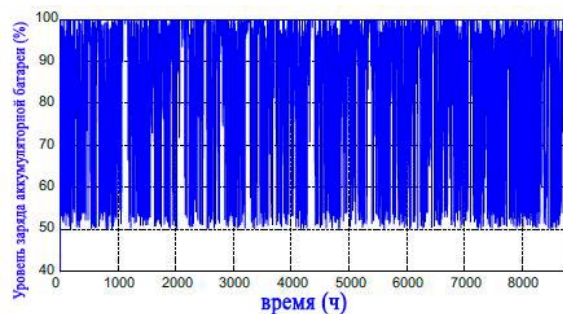


Рис. 16. Результат зарядки аккумулятора через год.

Fig.16. The result of a charge of the battery through a year

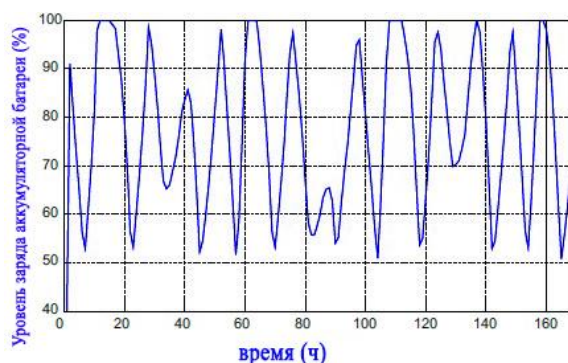


Рис. 17. Результат зарядки аккумулятора через неделю
Fig.17. The result of a charge of the battery through a week

ВЫВОДЫ

Возобновляемые источники энергии представляют собой экологически чистые источники энергии, и их интеграция сокращает использование традиционных ископаемых топлив, таких как дизельные генераторы, что приводит к снижению затрат на топливо и выбросов углерода. В этой статье представлена интеграция систем солнечных и ветряных турбин вместе с дизельным генератором в качестве резервного источника питания. Был разработан контроллер на основе системы адаптивного нейро-нечеткого вывода, и производительность системы проанализирована с точки зрения баланса мощности и стабильности с учетом постоянной нагрузки и переменных нагрузок. Чтобы удовлетворить спрос на нагрузку, приоритет отдается возобновляемым источникам генерации, а дизельный генератор работает только для обеспечения дефицитной мощности для поддержания баланса мощности. Кроме того, в систему можно включить аккумуляторную батарею. Батарея заряжается избыточной мощностью, когда генерация превышает потребность в нагрузке, и подает энергию обратно в систему в случае высокой потребности в нагрузке. Это также помогает уменьшить переходные процессы напряжения.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке внутреннего гранта ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» № 27/06–31.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф.М. Аль-Руфай, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
2. Абдали Л.М. Анализ и моделирование автономной фотоэлектрической системы с использованием среды matlab/simulink / Л.М. Абдали, Х.А. Исса, К.А. Али, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров // Строительство и техногенная

безопасность. – 2021. – № 21(73). – с.97-105. – DOI: <https://doi.org/10.37279/2413-1873-2021-21-97-105>.

3. Абдали Л.М., Аль-Руфай Ф.М., Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д. Комбинированная энергетическая установки для преобразования солнечной и ветровой энергии. международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020» – Севастополь: СевГУ, 2020. С.21-28.

4. Интеллектуальная система управления, используемая при работе ветроэлектрических установок /Л.М. Абдали, Ф.М. Аль-Руфай, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С.102–112. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-102-112

5. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.

6. Kuvshinov V.V., Abdali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

7. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256-259. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.

8. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. <https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.

9. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. 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>.

10. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.

11. Ahmed Mommmed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). J. Eng. Appl. Sci., 2019, no. 14, pp. 4414-4418. doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.

12. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mommmed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.

13. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. Appl. Sol. Energy, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.

14. Kuznetsov, N. P., Abd Ali, M.L., Kuvshinov, V.V., Issa, A.H., Mohammed, J.H., & Al-bairmani, G.A. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, Vol. 18, No.3, pp. 313 - 320. Doi :10.5937/jaes18-24460.

15. 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>.

16. Кувшинов, В., Абдали, Л., Морозова, Н., Крит, Б., Аль-Руфай, Ф., & Исса, Х. (2021). Экспериментальные исследования приемных поверхностей плоских солнечных коллекторов. *Электронная обработка материалов*, 57(1), 75-81. DOI: 10.5281/zenodo.4456690

17. Оценка потенциала ветроэнергетических ресурсов на юге Ирака / Ф.М. Аль-Руфай, Л.М. Абдали, В.В. Кувшинов, Б.А. Якимович // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2020. Т. 23, № 3. С. 105–113. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113.

18. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706. DOI: 10.36478/jeasci.2019.3698.3706

19. Абдали Л. М., Аль-Руфай Ф. М., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Моделирование и контроль энергии ветра, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", - Томск: ТПУ, 22–24 апреля 2020 г., с. 14-19.

20. Абдали Л.М. Моделирование параметров управления интегрированной системой солнечной генерации и накопления энергии / Л.М. Абдали, В.В. Кувшинов, Э.А. Бекиров, Ф.М. Аль-Руфай // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2020. – № 18(70). – с.133-142. – DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.

21. Issa H.A., Mohammed H.J., Abdali L.M., Al Bairmani A.G., Ghachim M. Mathematical Modeling and Controller for PV System by Using TMMT Algorithm. *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 96-101. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-96-101

22. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electr. Eng.* 2017, 99, pp. 839–846.

23. Оптимизация аккумулирования энергии в гибридных системах ветроэнергетики и фотовольтаики / Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфай, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2020. Т. 23, № 2. С. 100–108. doi: 10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.

24. Абдали Л. М., Аль-Руфай Ф. М., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. Моделирование гибридной фото-ветроэнергетической системы с сетевым подключением. В сборнике: *Возобновляемые источники энергии. Материалы Всероссийской*

научной конференции с международным участием и XII научной молодежной школы, 2020, С. 117-128.

25. Исса Х.А., Абдали Л. М., Аль-Руфай Ф.М., Мансор М.Ф., Мохаммед Х.Д., Моделирование фотоэлектрического модуля с помощью программы matlab, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", Томск: ТПУ, 22-24 апреля 2020, с.116-122.

26. Мохаммед, Х. Д., Абдали, Л.М., Исса, Х.А., Аль-Руфай, Ф.М., Разработка обобщенной фотоэлектрической Модель с MATLAB использованием, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", Томск: ТПУ, 22-24 апреля 2020, С.166-172.

27. Javed, K.; Ashfaq, H.; Singh, R. A new simple TMMT algorithm to track TMM under partial shading for solar photovoltaic systems. *Int. J. Green Energy* 2020, 17, 48–61.

References

1. AbdAli Laith Mohammed A., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Performance Analysis of Hybrid Photo-Wind Turbines]. *Energeticheskiyeustanovki i tekhnologii*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 61-68 (in Russ.).

2. Abdali L.M. ANALYSIS AND SIMULATION OFF-GRID PV PANELS BY USING MATLAB / SIMULINK ENVIRONMENT / L.M. Abdali, H.A. Issa, Q.A. Ali, V.V. Kuvshinov, E.A. Bekirov // *Construction and industrial safety*. – 2021. – № 21(73). – Pp.97-105. DOI: <https://doi.org/10.37279/2413-1873-2021-21-97-105>.

3. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Issah.A., Mohammed h.D. [The generation power plant by using the combined of solar and wind power]. *mezhdunarodnoynauchno-prakticheskoykonferentsii «Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskayabezopasnost' – 2020» – Sevastopol': SevGU*, 2020. pp. 21-28(in Russ.).

4. Abdali L.M., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Smart Control System for the Wind Energy Networks // *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalasnikova*. – 2021. – Vol. 24. – N. 1 – Pp. 102-112. doi: 10.22213/2413-1172-2021-1-102-112

5. Abd Ali Laith Mokhammed, KhayderAbdulsakhilIssa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoyuchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117-120 (in Russ.).

6. Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223-228. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

7. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256-259. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.

8. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. <https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.
9. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. 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>.
10. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, Pp. 242-246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.
11. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, No. 14, Pp. 4414-4418. doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.
12. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and HusamAbdulhuseinWahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.
13. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.
14. Kuznetsov, N.P., Abd Ali, M.L., Kuvshinov, V.V., Issa, A.H., Mohammed, J.H., & Al-bairmani, G.A. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, Vol. 18, No. 3. Pp. 313-320. doi :10.5937/jaes18-24460.
15. 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>.
16. Kuvshinov, V.V., Morozova, N.V., Abd Ali, L.M., Krit, B L., Al-Rufae, F. M., & Issa, H.A. (2021). Experimental studies for the receiving surfaces of solar flat collectors. *Электронная обработка материалов*, 1(57), 75–81. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4456690>
17. Al-Rufae F.M., Abdali L.M., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. Assessment of the Potential of Wind Energy Resources in Southern Iraq // *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalasnikova*. – 2020. – Vol. 23. – No 3 – Pp. 105-113. doi: 10.22213/2413-1172-2020-3-105-113.
18. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706. doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.
19. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., IssaKh.A., Mohammed Kh.D., Yakimovich B.A., [Modeling and control of wind energy], X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, p. 14-19(in Russ.).
20. Abdali L.M. Development of the simulation and control system for an integrated solar energy generation and storage / L.M. Abdali, V.V..Kuvshinov, E.A. Bekirov, F.M. Al-Rufae // *Construction and industrial safety*. – 2020. – № 18(70). – Pp.133-142. – DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-133-142.
21. Fazal, M.R.; Kamran, M.; ul Haq, I.; Abbas, Z.; Ayyaz, M.N.; Mudassar, M. Modified Perturb and Observe TMMT algorithm for partial shading conditions. *Int. J. Renew. Energy Res.*2019, 9,721-731.
22. Belkaid, A.; Colak, I.; Kayisli, K. Implementation of a modified P&O-TMMT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electr. Eng.* 2017, 99, 839–846.
23. Abdali L.M., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Optimization of Energy Storage in Hybrid Wind and Photovoltaic Energy Systems // *Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalashnikova*. – 2020. – Vol.23. – No2. – Pp. 100-108. doi:10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.
24. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Mohammed H.D., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Modeling of a hybrid photo-wind power system with a mains connection V sbornike: *Vozobnovlyayemye istochniki energii. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem i XII nauchnoy molodezhnoy shkoly*, 2020, Pp. 117-128. (in Russ.).
25. Issa H.A., Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Mansor M.F., Mohammed H.D., [Modeling a photovoltaic module using the matlab program].X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, Pp. 116-122 (in Russ.).
26. Mohammed, H.D., Abdali, L.M., Issa, H.A., Al-Rufai, F.M., Development of a Generalized Photoelectric Model with MATLAB.X Vserossiyskayanauchno-prakticheskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov". – Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, pp. 166-172 (in Russ.).
27. Javed, K.; Ashfaq, H.; Singh, R. A new simple TMMT algorithm to track TMM under partial shading for solar photovoltaic systems. *Int. J. Green Energy* 2020, 17, 48-61.

THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUE FOR THE ENERGY GENERATION AND ADMINISTRATION OF THE HYBRID SOLAR/WIND/DIESEL POWER SYSTEM

Abdali L. M.¹, Ali Q. A.², Kuvshinov V.V.³, Bekirov E.A.⁴, Korovkin N.V.⁵

¹Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: laith_2210@yahoo.com

²Postgraduate student, Institute of Energy of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, E-mail: qaysadnanali153@gmail.com

³Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

⁴Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, 295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, bekirov.e.a@cfuv.ru

⁵Postgraduate student, Institute of Energy of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, E-mail: Nikolay.korovken@gmail.com

Abstract. The use of renewable energy sources plays an irreplaceable role in remote areas where the power grid is not available. Photovoltaic power conversion (PV) and wind power conversion are the main types of renewable energy sources used. Hybrid systems are considered the most efficient solution for remote areas that are not connected to the centralized power grid.

Renewable energy is attracting the attention of researchers around the world. The main challenge is to combine the various existing sources into a single model in order to benefit from each of them, while complementing each other's disadvantages. The possibilities of managing combined hybrid systems based on renewable energy sources are currently not thoroughly studied. To increase the generation of electrical energy and reduce losses during the operation of these systems, it is necessary to conduct research aimed at improving the interactions of individual nodes of the proposed generation systems and improving the calculation methods for hybrid power plants. The integrated use of solar and wind generation systems can significantly improve energy performance and increase the generation of electrical energy.

This paper proposes a method for integrating a solar photovoltaic system, a wind turbine, and a diesel generator connected to a load. An additional load is also connected to the system to absorb excess power. The hybrid system model was developed in MATLAB / Simulink. A controller based on an adaptive neuro-fuzzy inference system was developed and the system analyzed in terms of energy production and consumption. The results obtained show the degree of increase in the reliability and stability of the system.

Subject of study. Analysis of technical equipment for power generation and control of a hybrid energy system.

Materials and methods. This article simulates a hybrid system consisting of a solar PV system, a wind generator, a diesel generator, and a consumer load. A controller based on an adaptive neuro-fuzzy inference system was developed and the system analyzed in terms of energy production and consumption.

Results. A controller was developed based on an adaptive neuro-fuzzy inference system. The results were encouraging when analyzing the proposed hybrid system in terms of energy production and consumption.

Conclusions. Based on the results, it can be concluded that the efficiency of hybrid installations with similar Simulink software blocks can be increased. Research prioritizes renewable energy sources for power generation, while a diesel generator works in the event of a power shortage, that is, when the load is increased to obtain an energy balance.

Key words: solar-wind system, diesel power plant, control system, photovoltaic panel, wind turbine, hybrid energy production, renewable energy sources (RES), simulation model.