

УДК 620.92

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-2-100-108

**Оптимизация аккумуляции энергии  
в гибридных системах ветроэнергетики и фотовольтаики**

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

**Ф. М. Аль-Руфай**, аспирант, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

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

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

*Возобновляемые источники энергии играют незаменимую роль в отдаленных районах, где электросеть недоступна. Гибридная система, предлагаемая в этой статье, включает в себя два возобновляемых источника энергии, а именно: фотоэлектрические системы, ветряные турбины. Комбинация этих энергий для удовлетворения требований к нагрузке с надежным, экономичным и устойчивым энергоснабжением считается критической проблемой. Гибридные системы считаются наиболее прагматичным решением для удаленных районов за пределами сети.*

*Предлагается новый метод определения оптимального размера накопления энергии в фотоэлектрических и ветряных гибридных системах генерации энергии. Эти компоненты размещены в схеме из трех блоков для прогнозирования, измерения и распределения (управления) потоками мощности во всей системе для удовлетворения требований стороны спроса. Данные о мощности электрической нагрузки, мощности солнечного излучения, температуре окружающей среды, скорости ветра и других погодных условиях должны прогнозироваться с высокой точностью. Алгоритм определения оптимального размера разработан на основе данных прогнозирования, ограничений, соотношения величин во всей системе и способности заряжать/разряжать энергию накопления. Оптимальный размер в этом исследовании помогает переупорядочить диаграммы нагрузки, которые полностью компенсируют дефицит энергии на этапах с высоким и средним уровнями цен.*

*Данный подход может быть применен на каждой шине, чтобы уменьшить стоимость покупки электричества от электрической системы. Новое предложение иллюстрируется результатами моделирования в тематическом исследовании, проведенном в MATLAB 2019a.*

**Ключевые слова:** возобновляемая энергия, гибридная система генерации энергии, оптимальное распределение, накопление энергии, фотоэлектрическая энергия, энергия ветра, фотоветроэнергетика.

**Введение**

**И**спользование различных видов энергии постоянно развивается, поскольку постоянно изменяются образцы потребления энергии [1]. Хотя возобновляемые ресурсы, такие как ветер, вода и биомасса, были первыми источниками энергии для обеспечения тепла, света и полезной энергии, именно энергия, запасенная в ископаемом топливе, а в последнее время также ядерная энергия способствовали огромному расширению мирового промышленного, жилого и транспортного сектора

в течение 20-го века [2]. Но поскольку потребление ископаемого топлива увеличивается в результате роста населения и улучшения уровня жизни, возникают опасения по поводу энергетической безопасности и негативного воздействия парниковых газов на окружающую среду [3]. Ввиду волатильности на зарубежных энергетических рынках, влияющей на цены и доступность топлива, остро стоит вопрос внутренней энергетической безопасности.

Кроме того, опасения по поводу ограниченных поставок ископаемого топлива и парнико-

вых газов, выделяемых при сжигании ископаемого топлива, стимулировали усилия по использованию возобновляемых ресурсов энергии – ветра, солнечного света [4], биомассы и геотермального тепла – для удовлетворения потребностей в энергии. В настоящее время возобновляемые источники энергии обладают огромным потенциалом для снижения негативных последствий использования энергии и увеличения внутренней ресурсной базы [5]. Фундаментальная проблема заключается в сборе энергии от возобновляемых ресурсов и преобразовании ее в пригодные для использования формы в масштабах, необходимых для внесения существенного вклада в энергообеспечение страны [6–8].

В будущем центральным вопросом для энергетических систем окажется роль, которую возобновляемые ресурсы будут играть в производстве электроэнергии [9]. Возобновляемая электроэнергия предоставляет значительную возможность для обеспечения производства электроэнергии с низким уровнем выбросов углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атмосферу и сопутствующих экономических возможностей. Хотя

производство электроэнергии из возобновляемых источников возросло за последние 20 лет, доля ее мирового производства по сравнению с гидроэлектроэнергетикой мала [10].

Благодаря постоянному техническому прогрессу экономические, политические и связанные с развертыванием факторы, а также общественное признание являются ключевыми факторами в определении вклада возобновляемой электроэнергии в развитие общества [11].

Энергетическая и экономическая безопасность стран потребует огромного увеличения масштабов развертывания и увеличения затрат по сравнению с существующими технологиями, генерирующими ископаемое топливо [12–14].

Дополнительные требования включают в себя возможность системы более эффективного производства и развертывания оборудования для производства электроэнергии из возобновляемых источников энергии, которые оказывают положительное влияние на конкурентоспособность возобновляемых источников энергии и простоту интеграции возобновляемых источников энергии в рынки электроэнергии (рис. 1) [15].

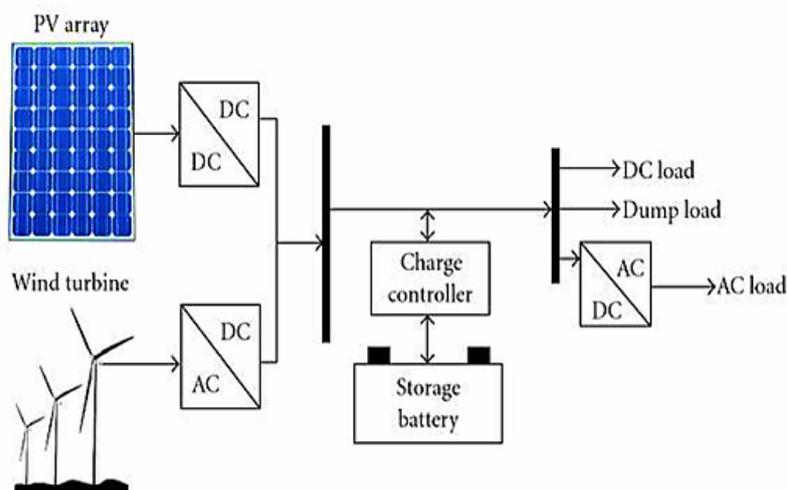


Рис. 1. Компоненты гибридной системы

Fig. 1. Hybrid system components

**Цель исследования** – разработка нового метода определения оптимального размера накопителя энергии для удовлетворения требований программы управления на стороне спроса. Оптимальная мощность может полностью компенсировать дефицит энергии на этапах, имеющих высокий и средний уровень цен.

На рис. 2 показаны преобразователи мощности для регулирования мощности для фотоэлектрической генерации и генерации энергии ветра, двунаправленный преобразователь энергии для

накопления энергии для регулирования мощности для зарядки/разрядки накопления энергии и двунаправленный преобразователь энергии для взаимодействия мощности с сетки.

Преобразователи должны быть скоординированы, чтобы соответствовать всем рабочим требованиям [16].

#### Управление спросом

Хотя основная роль программы DSM состоит в том, чтобы составить график работы для всех блоков, у нее есть некоторые различные

проблемы, когда она применяется в мировой и гибридной системах производства электроэнергии [17]. Это уровни цен на электроэнергию и минимальные затраты на покупку электроэнергии. Программа DSM должна помочь снизить потребление электроэнергии от прибыли на этапах с высоким и средним уровнем цен, используя накопления энергии, которая имеет достаточную емкость для баланса мощности [18].

**Ограничения**

Мощность установок изменяется в соответствии с изменением входных параметров ( $G$ ,  $T$ , скорость ветра и др.). Хотя эти параметры ме-

няются очень быстро и случайно в реальных рабочих процессах, их можно прогнозировать, а их мгновенные диаграммы можно перестраивать в прямоугольные диаграммы в каждой  $\Delta t_i$ , используя технику аппроксимации площади [19, 20]. Таким образом, центр прогнозирования будет предоставлять приблизительно прямоугольные диаграммы во всем цикле (сутки), используемые для перераспределения этих диаграмм в прямоугольных диаграммах [21]. Этот метод предоставит новые прямоугольные диаграммы ( $S1$ ,  $S2$ ,  $S3$ , ...), имеющие одинаковую площадь с исходными диаграммами, как показано на рис. 3 [22].

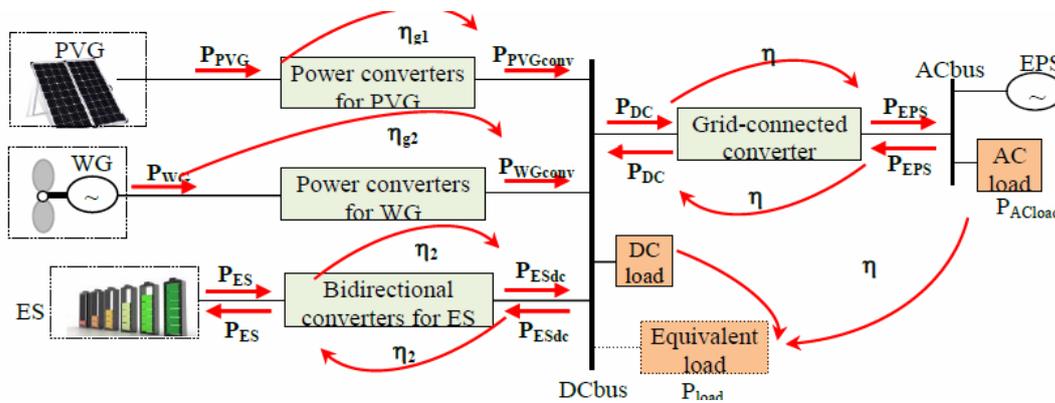


Рис. 2. Схема гибридной системы производства электроэнергии

Fig. 2. The diagram of hybrid power generation system

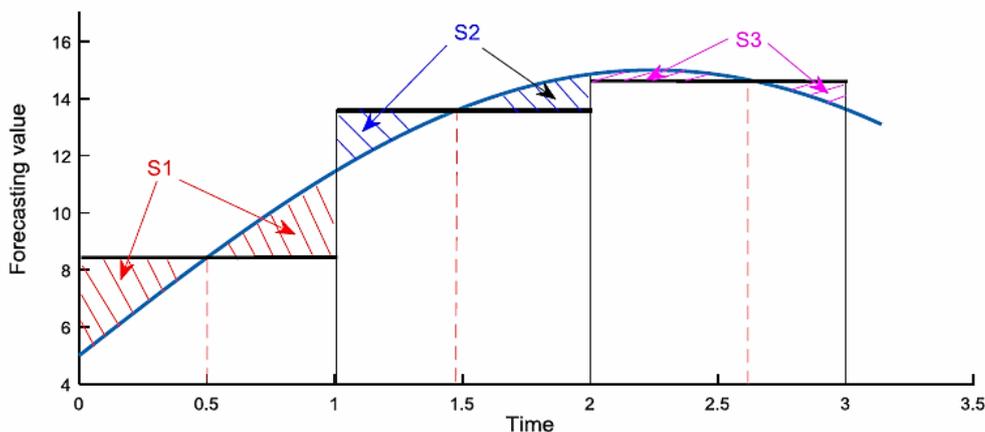


Рис. 3. Техника аппроксимации площади для создания прямоугольных диаграммах

Fig. 3. The approximation Area of the technique for creating charts

Емкость накопления энергии зависит от номинального значения  $C_r$  (наибольшее значение, которое можно сохранить), минимального значения  $C_{min}$  для обеспечения возможности восстановления или переделки в следующий раз и мгновенного значения  $C_{ins}$  в любое время. Ограничения для вышеуказанных величин покажем, как

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{min} = 0,2C_r \\ C_{min} \leq C_{ins} \leq C_r \end{array} \right\}.$$

В процессе работы значение  $C_{ins}$  может непрерывно изменяться (увеличиваться, уменьшаться или быть постоянным) в зависимости от соотношения мощности нагрузки и гибридных поколе-

ний. В этом исследовании изменение емкости рассматривается как линейная функция [23].

**Алгоритм определения оптимального размера накопления энергии**

Существует много диаграмм прогнозирования максимальных или минимальных значений мощности нагрузки. Мощность поколений в каждый момент времени используется для определения оптимального размера накопления энергии. Накопленная энергия должна адекватно удовлетворять дефицит энергии на этапах, имеющих высокие и средние уровни цен (с 4,5 до 10 часов каждый день).

Из-за пренебрежения затратами на инвестиции оптимальный размер хранилища энергии будет выбран путем добавления 5...10 % номинального значения, как показано на рис. 4, чтобы иметь резервное значение при отклонении.

**Метод симуляции**

Гибридные генерации: номинальная мощность для фотоэлектрической генерации составляет 6,6 кВт при стандартных условиях испытаний, а номинальная мощность для генерации ветра составляет 8,5 кВт. Мощность, полученная на шине постоянного тока от гибридных поколений (PPVGconv и PWGconv), представлена на рис. 5. Диаграммы общей мощности, получаемой на шине постоянного тока от поколений, и мощности нагрузки представлены на рис. 6.

**Результаты моделирования связи  $C_r$  и мгновенной емкости в конце последней средней ступени  $C_{ins}$**

Результаты (таблица) показывают, что подходящий размер накопления энергии должен составлять от 365 до 370 кВт·ч.

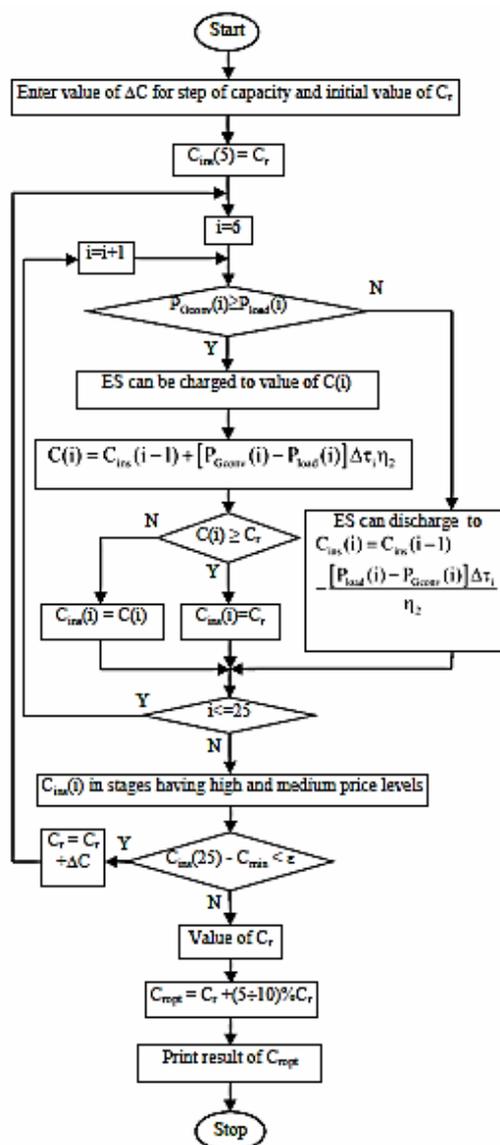


Рис. 4. Алгоритм определения оптимального размера накопителя энергии

Fig. 4. The algorithm that calculates the optimal volume of the energy storage

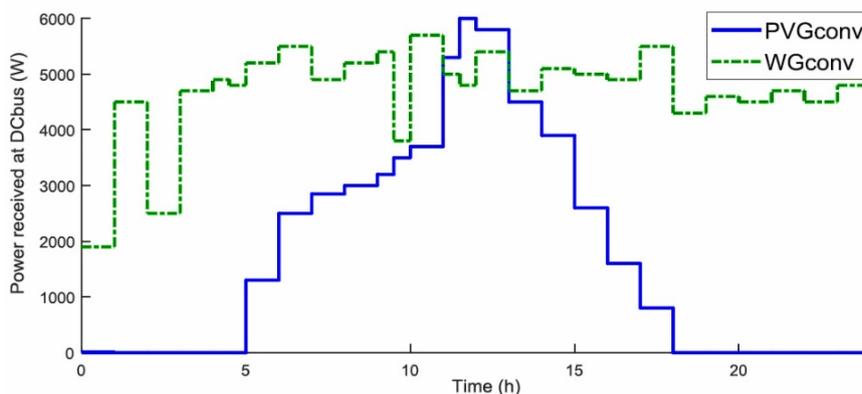


Рис. 5. Мощность, полученная на шине постоянного тока от поколений

Fig. 5. The received power in the DC bus generations

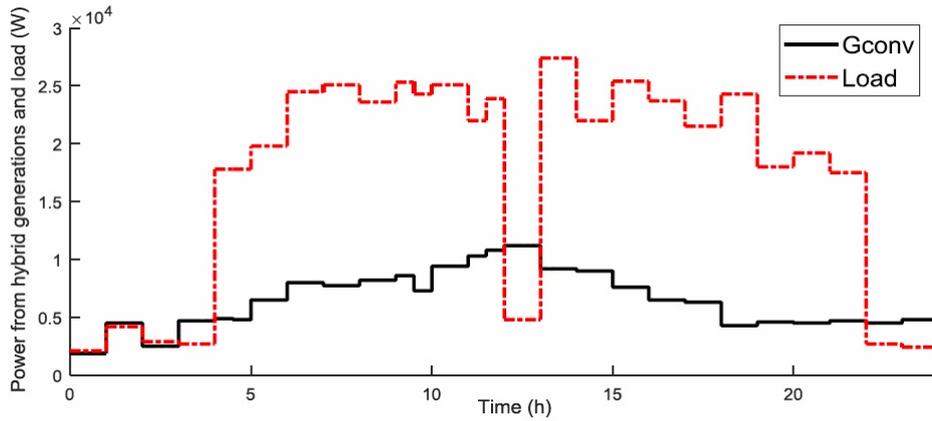


Рис. 6. Мощность, полученная на шине постоянного тока от поколений и нагрузки

Fig. 6. The receiving Power in the DC generations bus and the load

**Соотношение между  $C_r$  и  $C_{ins}$**

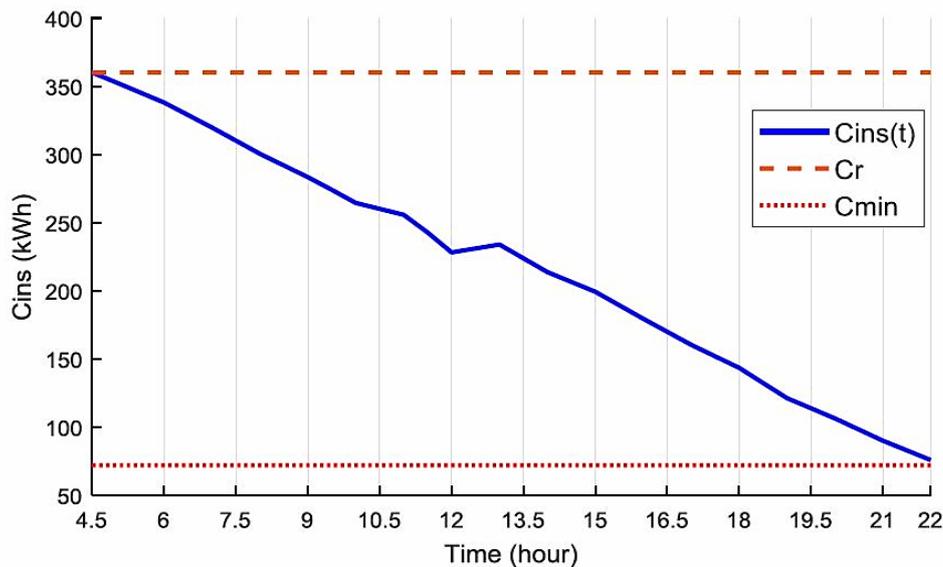
**Relationship between  $C_r$  and  $C_{ins}$**

Значение $C_r$ , кВт·ч	360	365	370
Стоимость монет, кВт·ч	61,48	72,48	77,48
Значение $C_{min}$ , кВт·ч	71	72	73

Чтобы иметь резервную мощность, оптимальный размер должен быть выбран как  $C_{ropt} = 400$  кВт·ч. Значения  $C_{ins}$  в любое время на этапах, имеющих высокие и средние уровни цен, соответствующие двум тематическим исследованиям  $C_r$  (360 и 400 кВт·ч), представлены на рис. 7.

Мы видим, что при  $C_r = 360$  кВт·ч не будет резервной мощности. В этом случае легко

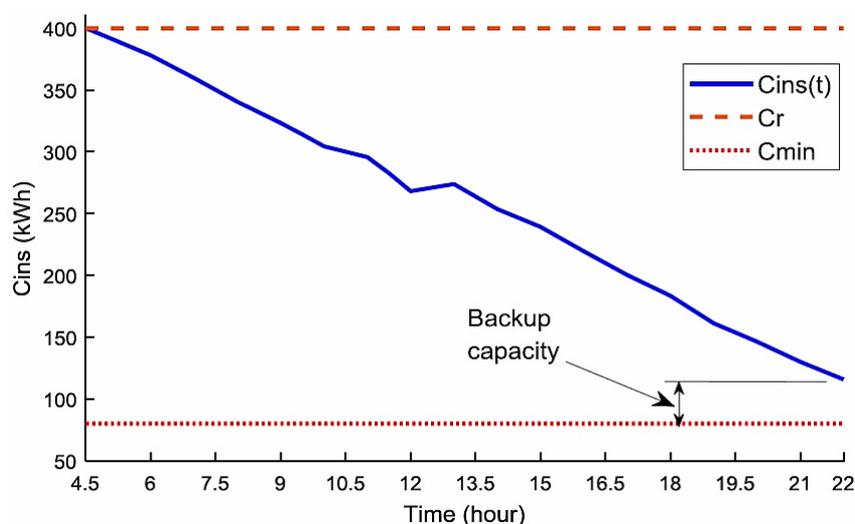
упасть в дефицит энергии, когда есть отклонение параметров прогнозирования в реальных условиях работы. Значение 400 кВт·ч может помочь создать резервную мощность после завершения этапов с высокими и средними ценовыми уровнями (10 часов вечера), поэтому это лучший выбор для определения размера накопления энергии.



а.  $C_r=360$  kWh

Рис. 7. Значения  $C_{ins}$  в двух тематических исследованиях  $C_r$

Fig. 7.  $C_{ins}$  Values in Two  $C_r$  Case Studies



b.  $C_r=400$  kWh

Рис. 7 (окончание)

Fig. 7 (continued)

### Выводы

Гибридная система оптимизируется с использованием инструментов моделирования гибридной оптимизации для электрических возобновляемых источников энергии (Matlab) при ранжировании пригодности системы. Результаты показывают, что лучшим сценарием для комбинации является система «PV – ветер – батарея» с минимальными затратами энергии. Оптимальная конструкция предлагаемой системы может обеспечивать непрерывную подачу электроэнергии, необходимой для общественных нагрузок, поэтому предложенная комбинированная система является хорошей суррогатной системой, которая может быть реализована для удаленных районов.

Результаты моделирования показали выполнимость и точность предложенного метода в неполном тематическом исследовании. В соответствии с примерами диаграмм результаты расчетов дают значение оптимального размера и подтверждают новый вклад этой статьи в гибридные системы, использующие фотоэлектрические и ветровые генерации.

В статье также разработан алгоритм для анализа потоков мощности во всей системе, который учитывает потери мощности в преобразователях мощности. Благодаря этому методу оптимальное определение размеров может полностью обеспечить энергию для нагрузки в любом другом случае диаграмм и с использованием оптимального определения размера накопления энергии.

### Библиографические ссылки

1. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок / Абдали Лаит Мохаммед А., Ф. М. Аль-Руфайи, Б. А. Якимович, В. В. Кувшинов // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.
2. Abdali L.M., Issa H.A. [Using tidal energy as a clean energy source to generate electricity] // Молодой ученый. 2018. № 11. С. 62–69.
3. Аль-Руфайи Ф. М., Абдали Л. М., Кувшинов В. В. Электроэнергия в Ираке: кризис и решение // Энергетические установки и технологии. 2019. № 5 (2). С. 74–79.
4. Abdali L.M., Issa H.A. [Hybrid power generation using solar and wind energy] // Молодой ученый, 2018, no. 7, pp. 19-26.
5. Абдали 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. 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. 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 Plants]. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229-234. doi.org/10.3103/S0003701X1904008X.
9. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abdali 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. doi.org/10.3103/S0003701X19040030.

10. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abdali 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. doi.org/10.3103/S0003701X19040042.

11. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abdali 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 Abdali, Haider Ahmed Mohammed and Husam Abdulhusein Wahhab. [A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter]. *J. 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. doi.org/10.3103/S0003701X19030046.

14. Мохаммед Абдали Лаит, Исса Хайдер Абдулсахиб. Использование ветроэлектростанций в электроэнергетических системах // Теория и практика актуальных исследований : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 25 марта 2014 г.). В 2 т. Краснодар, 2014. 150 с. Т. II. С. 86–89.

15. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Hybrid Power Generation by Using Solar and Wind Energy. *Energy*, 2, 3.

16. Abdali Layth & Al-Rufae Faez. Simulation of a Model Photovoltaic power system to generate electricity, 2019, pp. 234-240.

17. Abdali 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.

18. Al-Rufae Faez & Abdali Layth. Renewable energy strategies to overcome power shortage in Iraq, 2019, pp. 244-249.

19. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abdali 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.

20. Гурьев В. В., Кувшинов В. В., Якимович Б. А. Перспективы развития возобновляемых источников энергии на территории Крымского полуострова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 116–123. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-116-123.

21. Кузнецов П. Н., Чебоксаров В. В., Якимович Б. А. Гибридные ветро-солнечные энергетические установки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 1. С. 45–53. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-45-53.

22. Кретов Е. Ф. Ультразвуковая толщинометрия в машиностроении // В мире неразрушающего контроля. 2008. № 2. С. 26–28.

23. Abdali Layth & Kuvshinov V. Генерация электрической энергии гибридной силовой установкой // Научная инициатива иностранных студентов. 2019. С. 66–73.

## References

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

2. Abdali Laith Mohammed, Khayder Abdulsakhilb Issa [Using tidal energy as a clean energy source to generate electricity]. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 11, pp. 62-69.

3. Al-Rufae F.M., Abdali L.M., Kuvshinov V.V. [Electricity in Iraq: crisis and solution]. *Energeticheskiye ustanovki i tekhnologii*, 2019, vol. 5, no. 2, pp.74-79 (in Russ.).

4. Abdali L.M. and Issa H.A. Hybrid power generation using solar and wind energy. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 7, pp. 19-26.

5. Abdali Laith Mokhammed, Khayder Abdulsakhilb Issa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoy uchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117-120 (in Russ.).

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. 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. 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. doi.org/10.3103/S0003701X1904008X.

9. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abdali 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. 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. doi.org/10.3103/S0003701X19040042.

11. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abdali 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 Abdali, Haider Ahmed Mohammed and Husam Abdulhusein Wahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *J. 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. doi.org/10.3103/S0003701X19030046.

14. Mohammed Abdali Laith, Issa Khayder Abdulsakhil. *Ispol'zovanie vetroelektrostantsii v elektroenergeticheskikh sistemakh* [The use of wind farms in power systems]. *Materialy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Teoriya i praktika aktual'nykh issledovaniy" (Krasnodar, 25 marta 2014 g.)* [Proc. of the VI Intern. scientific-practical conf. "Theory and practice of relevant research" (Krasnodar, March 25, 2014)], pp. 86-89 (in Russ.).

15. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Hybrid Power Generation by Using Solar and Wind Energy. *Energy*, 2, 3.

16. Abdali Layth & Al-Rufae Faez. Simulation of a Model Photovoltaic power system to generate electricity. 2019, pp. 234-240.

17. Abdali 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.

18. Al-Rufae Faez & Abdali Layth. Renewable energy strategies to overcome power shortage in Iraq. 2019, pp. 244-249.

19. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abdali 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.

20. Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. [Prospects for the Development of Renewable Energy in the Crimean Peninsula]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 116-123 (in Russ.).

21. Kuznetsov P.N., Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. [Hybrid Wind-Solar Power Plants]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 1, pp. 45-53 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-45-53.

22. Kretov E.F. [Ultrasonic thickness measurement in mechanical engineering]. *V mire nerazrushchajushchego kontrolja*, 2008, no. 2, pp. 26-28 (in Russ.).

23. Abdali Layth & Kuvshinov V. [Hybrid Power Generation Electric Power Generation]. *Nauchnaya initsiativa inostrannykh studentov*, 2019, pp. 66-73 (in Russ.).

### Optimization of Energy Storage in Hybrid Wind and Photovoltaic Energy Systems

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

*F.M. Al-Rufae*, Post-graduate, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

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

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

*Renewable energy plays an indispensable role in remote areas where the electric grid is not available. The hybrid system proposed in this paper includes two renewable energy sources, namely, photovoltaic systems and wind turbines. Combining these energies to meet load requirements with a reliable, economical, and sustainable energy supply is considered a critical issue. Hybrid systems are considered the most pragmatic solution for remote areas outside the network.*

*A new method is proposed for determining the optimal size of energy storage in photovoltaic and wind hybrid energy generation systems. These generations are placed in a three-block scheme for predicting, measuring, and distributing/controlling and distributing power flows throughout the system to meet demand-side requirements. Data on electric load power, solar radiation power, ambient temperature, wind speed, and other weather conditions should be predicted with high accuracy. The algorithm for determining the optimal size is developed based on forecasting data, limitations, the ratio of values in the entire system, and the ability to charge/discharge the storage energy. The optimal size in this study helps reorder load patterns that fully compensate for energy shortages at high to medium price stages.*

*It can be applied on each bus to reduce the cost of buying electricity from the electrical system. The new proposal is illustrated by simulation results in a case study conducted in MATLAB 2019a.*

**Keywords:** renewable energy, hybrid energy generation system, optimal distribution, energy storage, photovoltaic energy, wind energy, photo-wind energy.

Получено 16.04.2020

**Образец цитирования**

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.

**For Citation**

Abdali L.M., Al-Rufai F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Optimization of Energy Storage in Hybrid Wind and Photovoltaic Energy Systems]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 2, pp. 100-108 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-2-100-108.