

–Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,

д.т.н., профессор

Новожилов А. Н.,

д.т.н., профессор

Никитин К. И.,

д.т.н., профессор (Россия)

Никифоров А. С.,

д.т.н., профессор

Новожилов Т. А.,

д.т.н., профессор

Алиферов А.И.,

д.т.н., профессор (Россия)

Кошкеков К.Т.,

д.т.н., профессор

Приходько Е.В.,

к.т.н., профессор

Оспанова Н. Н.,

к.п.н., доцент

Нефтисов А. В.,

доктор PhD

Омарова А.Р.,

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 44.39.03

<https://doi.org/10.48081/XL.CL.7787>

***М. Т. Азаматов¹, М. В. Ярославцев¹, О. М. Талипов¹,
Е. А. Спиридонов² Н. А. Испулов¹**

¹Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», Российская Федерация, г. Новосибирск

* e-mail: muratazamatov@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С НАКОПИТЕЛЕМ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

В работе предложена вероятностная модель, описывающая совместную работу источников и потребителей энергии в составе автономной энергосистемы с питанием от возобновляемых источников энергии. Рассмотрены факторы, возникающие в процессе выработки энергии солнечными панелями, влияние географического положения оборудования. Модель на основании данных метеорологических наблюдений учитывает движение солнца, облачность и силу ветра для расчета мощности источников энергии.

Предложенная модель позволяет определить мощность источников энергии автономной энергосистемы, а также энергоемкость и мощность накопителя энергии. С её помощью может быть исследовано влияние на характеристики источников энергии погодных условий, соотношения между мощностью источников и энергоемкостью накопителя энергии, технических характеристик источников энергии и других факторов.

Исследование режимов потребления в разрезе времени суток и сезонности дает возможность применения оптимальных методов управления нагрузкой и определения максимальных и минимальных значений потребления. Полученная модель системы позволит

сравнить эффективность применения возобновляемых источников и накопителя энергии в автономной энергетической системе для различных регионов и за различные годы.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, накопитель энергии, автономная энергетическая система, солнечная электростанция, ветровая электростанция.

Введение

В настоящее время в энергетическом секторе проводятся значительные структурные реформы для обеспечения всеобщего доступа к недорогой энергии для всех [1]. Что еще более важно, энергетическая система трансформируется путем интеграции различных традиционных и возобновляемых источников энергии в широкий спектр мощностей [2]. Эффективное использование энергии солнца и ветра позволит ускорить переход к использованию устойчивых технологий [3].

Интеграция ветровой и солнечной энергии в энергетические системы позволит решать следующие технические задачи:

- размещение возобновляемых источников энергии в местах, где они могут обеспечить большую ценность для системы (например, вблизи мест наибольшего спроса);

- диверсификация источников энергии: солнечная (фотоэлектрическая), ветровая энергия и накопитель энергии;

- региональная интеграция с другими источниками. Это увеличение доли энергии местного производства для местного потребления. В качестве примера можно привести применение станций солнечных панелей и ветрогенераторов и накопителей энергии. Это снижает потребность в инвестициях в распределительные сети;

- интегрированное планирование, мониторинг и управление. Стоимость и объемы производства различных технологий выработки электроэнергии динамично меняются. В результате оптимальная производственная структура также меняется течением времени и требует регулярной корректировки.

Интегрированное планирование важно для обеспечения согласованной работы различных источников генерации, систем передачи и распределения электроэнергии, систем управления спросом, систем

хранения энергии и других систем, и должно включать решение следующих актуальных вопросов в новых условиях:

- учет возможности производства электроэнергии за счет энергии ветра и солнца;
- интегрированное планирование систем генерации, передачи и распределения электроэнергии;
- планирование и эксплуатация сетей низкого и среднего напряжения с учетом развития распределенной генерации. [4; 5]

Для совместного определения характеристик источников энергии в составе локальной автономной или частично автономной энергосистемы необходимо учитывать влияние на них большого количества факторов, к которым относятся:

- для солнечной электростанции – географическое положение оборудования, движение Солнца, погодные условия (облачность), время суток и сезонность;
- аналогично для анализа выработки энергии ветрогенератором, необходимо определить влияние погодных условий (силы ветра), времени суток и сезонности.

Итак, исходя из вышесказанного определены задачи:

- разработать модель, позволяющую получить зависимости мощности вырабатываемой и потребляемой электроэнергии от времени с учетом перечисленных факторов.
- определить мощности солнечной и ветровой электростанций с учетом неравномерности выработки и потребления;
- получить графики выработки и потребления энергии системой, что позволит определить неравномерность выработки и потребления, а также проверить достаточность запаса энергии накопителя.

Материалы и методы

В работе создана модель, описывающая взаимодействие возобновляемых источников энергии и накопителей энергии в автономной энергетической системе для небольших сельскохозяйственных комплексов. Взаимодействие источников энергии и потребителя показано на функциональной схеме (рисунок 1).

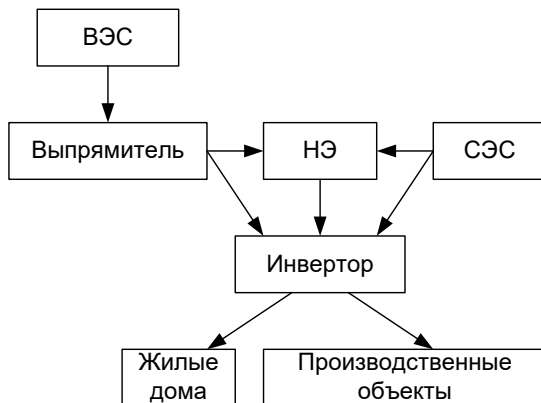


Рисунок 1 – Функциональная схема системы.

На схеме обозначены: СЭС – солнечная электростанция, ВЭС – ветровая электростанция, НЭ – накопитель энергии.

В качестве источников энергии использованы ветровая и солнечная электростанции. В качестве расчетного объекта выбран сельскохозяйственный комплекс – небольшое поселение с 19 единицами сельских производственных потребителей и 95 жилыми домами. Размер комплекса выбран так, чтобы в нем были представлены несколько производственных объектов с различными суточными графиками нагрузки. По данным [6, 7] установлено, что максимальная потребляемая комплексом полная мощность составляет 3 МВА. Составлены среднесуточные графики активной и полной мощности для различных времен года, показанные на рисунке 2.

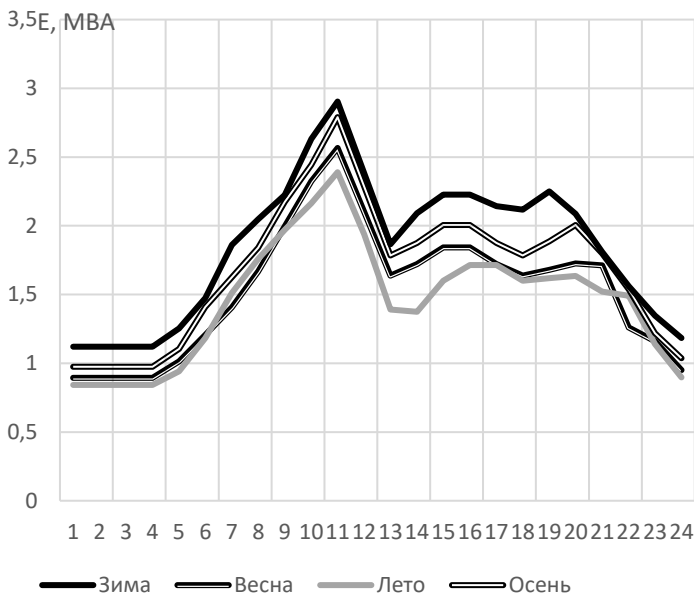


Рисунок 2 – Полная расчетная мощность сельскохозяйственного объекта

В качестве источников электроэнергии рассмотрены ветровая и солнечная электростанции. Номинальная мощность солнечной электростанции принята равной 7 МВт, а номинальная мощность ветрогенераторной электростанции 6 МВт. При такой мощности вырабатываемая в течение года энергия покрывает потребность рассматриваемого комплекса.

Мощность производимой электроэнергии ветровой и солнечной электростанции, зависят от погодных условий и местоположения. Основными данными о погоде и местоположении принята Павлодарская область. Данные о погоде взяты для метеостанции 36003, расположенной в аэропорте Павлодара [8].

Для анализа энергии, получаемой от солнечных панелей и ветрогенератора, взяты данные за 2022 год. Шаг времени расчета составляет 30 минут в соответствии с данными метеорологической станции.

Влияние облачности на выработку энергии солнечной электростанций (СЭС) учтено на основании работы [9], где показано, что при 100% облачности мощность СЭС сокращается до 10 %. В расчете принято, что вырабатываемая мощность сокращается пропорционально повышению уровня облачности.

Освещенность солнечной панели в определённое время зависит от азимута и высоты солнца, а также от угла наклона солнечной панели. Для определения положения солнечного угла к рабочей поверхности панели, необходим астрономический расчет азимута A и высоты S солнца.

Высота солнца S – угол между прямой, соединяющий центр солнца с текущем положением, и касательной плоскостью. На рассвете и закате он должен быть равен нулю.

Азимут A – это отклонение от севера, отсчитываемое по часовой стрелке. Значения азимута и высоты солнца определены по выражениям

$$S = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos HRA),$$

$$A = \arccos(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos HRA),$$

где φ – широта, $\delta = \arcsin(\sin(23.45^\circ) \cdot \sin(360/365 \cdot (d - 81)))$ – склонение солнца, HRA – местное солнечное время, переведенное в градусы (4 минуты соответствуют 1 градусу) [10; 11; 12].

Для прогнозирования годового производства энергии и выходной мощности ветрогенератора применяется кривая мощности ветра. Мощность ветрогенератора имеет колебания, вызванные изменчивостью направления и скорости ветра. Кривая мощности, полученная статистическими методами, дает усредненную зависимость вырабатываемой мощности от скорости ветра.

Кривая мощности ветра, выражается нелинейной зависимостью между скоростью ветра и фактической выходной мощностью. [13; 14; 15; 16] На кривой можно выделить три участка. При малой скорости ветра вырабатываемая мощность пропорциональна квадрату его скорости. На втором участке вырабатываемая мощность постоянна и определяется максимальной мощностью генератора. Наконец, при скорости ветра выше 18 м/с генератор должен быть отключен по требованиям безопасности. При

создании модели мощность ветровой электростанции принята пропорциональной мощности одного генератора, которая описывается кривой, показанной на рисунке 3.

Результаты и обсуждение

В результате расчета выработки энергии солнечными панелями и ветрогенератором были получены недельные графики для различных сезонов, которые показаны на рисунках 4–7.

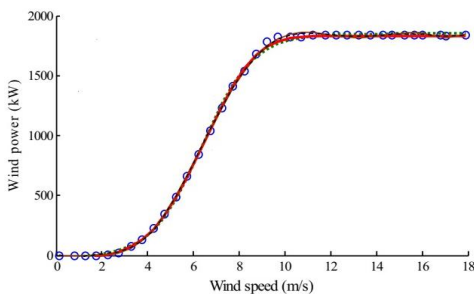


Рисунок 3 – График, зависимости мощности генератора от силы ветра

Из-за нелинейности производимой и потребляемой электроэнергии необходимо постоянно управлять мощностью источников для выравнивания нагрузки между производством электроэнергии и потреблением. В этом случае наиболее эффективным способом будет накопление излишков производимой электроэнергии системой накопления электроэнергии.

Важнейшими характеристиками, определяющими выбор накопителя энергии, являются его энергоемкость и мощность. В модели принято, что преобразование энергии при заряде и при разряде накопителя происходит со средним КПД, равным 90 %. Запас энергии накопителя рассчитывается численным интегрированием разности вырабатываемой и потребляемой мощности.

В модели заложено ограничение на максимальную величину заряда накопителя. Недельные графики запаса энергии для различных сезонов показан на рисунке 8. Максимальный заряд накопителя ограничен

250 МВт·ч, перед началом эксплуатации накопитель считается полностью заряженным.

Полученная модель позволяет решать следующие задачи:

- определять требования к мощности возобновляемых источников энергии;
- определять энергоемкость и мощность накопителя;
- исследовать целесообразность получения энергии из внешней энергосистемы;
- определить оптимальный угол наклона солнечных панелей;
- определять номинальную мощность ветроэнергетических и солнцеенергетических установок;
- сравнить эффективность применения внешних источников электроэнергии в различных регионах и за различные годы.

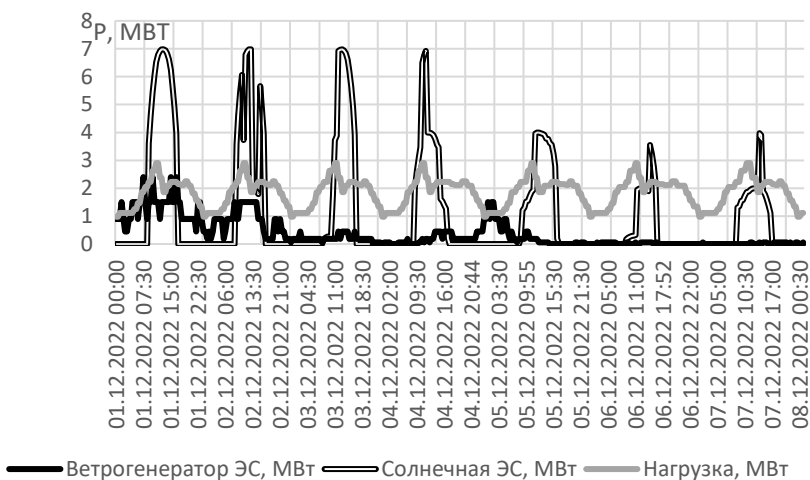


Рисунок 4 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в зимний сезон

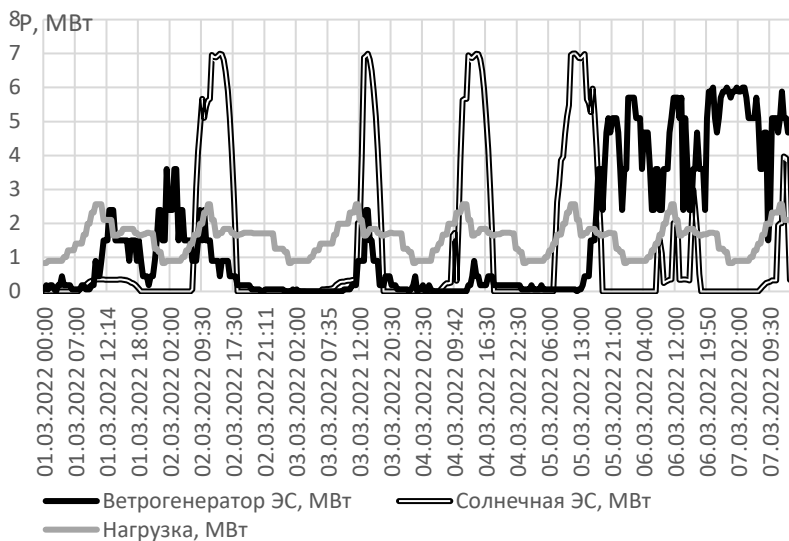


Рисунок 5 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в весенний сезон

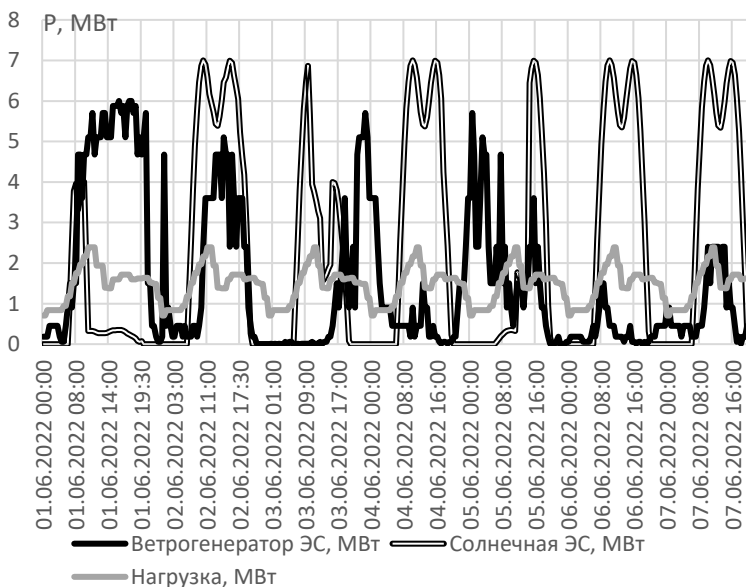


Рисунок 6 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в летний сезон

энергии в летний сезон

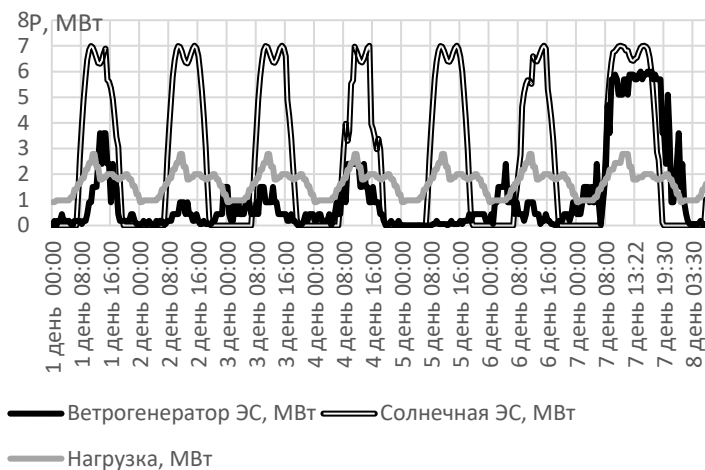


Рисунок 7 – Графики зависимости выработки и потребления энергии в осенний сезон

Выводы

Предложенная модель описывает совместную работу возобновляемых источников энергии и накопителя энергии в автономной энергетической системе. Модель учитывает процесс получения энергии от солнечных панелей и ветрогенератора и её накопление, положение солнца к солнечной панели, нелинейную зависимость мощности ветрогенератора от силы ветра, влияние времени суток и сезонности как на процесс выработки энергии, так и на процесс потребления энергии.

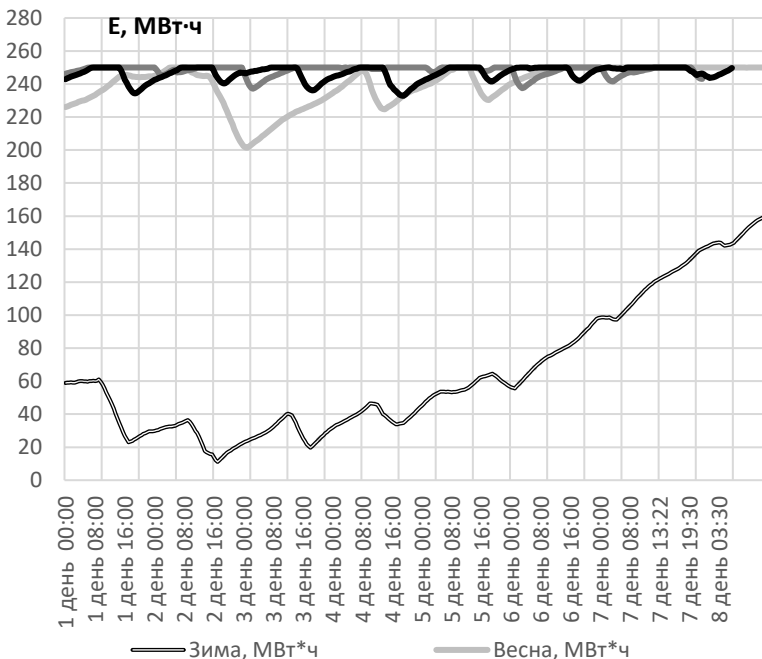


Рисунок 8 – График зависимости энергоёмкости накопителя

При помощи разработанной модели выполнен расчет мощности, потребляемой автономной системой электроснабжения сельскохозяйственного комплекса номинальной мощностью 3 МВт. Показано, что при установленной мощности солнечной электростанции 7 МВт, а ветровой 6 МВт обеспечивается круглогодичная бесперебойная работа комплекса при установке накопителя энергии энергоёмкостью 250 МВт·ч. Результаты моделирования показали, что величина суточных колебаний запаса энергии накопителя находится в пределах 30 МВт·ч в течение года, в то время как величина недельных колебаний изменяется от 50 МВт·ч в летний период до 200-250 МВт·ч в зимний.

Очевидно, что вклад солнечной электростанции в выработку энергии в зимний период значительно ниже, чем в летний. В то же время, моделирование показало, что полный отказ от солнечной энергии даже в зимнее время нецелесообразен, так как потребует непропорционально большого увеличения не только мощности ветровой электростанции, но и

энергоёмкости накопителя.

В развитие работы планируется повысить точность моделирования за счет более детального рассмотрения потерь энергии, а также выполнить сравнение эффективности применения возобновляемых источников энергии для различных регионов Казахстана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 2020 Smart Grid System Report // US Department of Energy – 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – URL: https://www.energy.gov/search/site?keywords=Grid+Modernization+and+Smart+Grid&sort_by=search_api_relevance (Дата обращения: 07.02.2024).

2 Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all / J.Wu, T., Wu // un.org – 2015. – № 4. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/ru/chronicle/article/22193> (Дата обращения: 06.02.2024).

3 Sustainable Development Agenda // UN – 2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/> (Дата обращения: 07.02.2024).

4 IRENA : Innovation landscape for a renewable-powered future [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nangs.org/analytics/irena-innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future-february-2019-eng-pdf> (Дата обращения: 06.02.2024).

5 **Опадчий, Ф.** Ответы на глобальные вызовы можно найти только совместно Газета Энергетики и промышленность России – 2019. – № 18 (374) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/374/9315497.htm> (Дата обращения: 07.02.2024)

6 **Будзко, И. А.** Электроснабжение сельского хозяйства: учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / Будзко, И. А., Лещинская, Т. Б., Сукманов, В. И. – М. : Колос, 2000, С. 20-47

7 **Федоров, А. А.,** Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для вузов / Федоров, А. А., Ристхейн, Э. М. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.

8 Расписание погоды [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9F%D0%B0

[%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B5](#) (Дата обращения: 07.02.2024).

9 **Suri, M., Cebecauer, T., Skoczek, A., Marais, R., Mushwana, C., Reinecke J., Meyer R.** Cloud cover impact on photovoltaic power production in South Africa *Academica*, 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.academia.edu/14259100/cloud_cover_impact_on_photovoltaic_power_production_in_south_africa (Дата обращения: 07.02.2024).

10 Сферическая астрономия: учеб. пособ. для студентов 1 курса / Физический факультет Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина – Екатеринбург, 2011 – 88 с.

11 **Машонкина, Л. И.** Задачи и упражнения по общей астрономии: методическое пособие к практикуму по Общей Астрономии / Машонкина, Л. И., Сулейманов, В. Ф.; Физический факультет Казанского Государственного Университета ФЦП Интеграция. Наземная астрономия – Казань, 2002.

12 **Кравченко, Е. В., Кравченко, В. П., Ткачева, Е. Н.** Определение оптимального угла наклона солнечного коллектора в зависимости от длительности работы в течение года / *Refrigeration Engineering and Technology*. – 2016. – Vol. 52. – Iss. 1. – P. 35–41. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.un.org:10.21691/ret.v52i1.37>.

13 **Wang, Z. M., Wang, X., Liu, W. M.** Genetic least square estimation approach to wind power curve modelling and wind power prediction. – 2023. – Vol. 9188. – Iss. 13 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.un.org:10.1038/s41598-023-36458-w>.

14 **Hagspiel, S., Papaemmannouil, A., Schmid, M. & Andersson, G.** Copula-based modeling of stochastic wind power in Europe and implications for the Swiss power grid / *Energy*. – 2012. – Vol. 96. – P. 33–44. [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://www.un.org:10.1016/j.apenergy.2011.10.039>.

15 **Tapar, V., Agnihotri, G. & Sethi, V. K.** Critical analysis of methods for mathematical modelling of wind turbines. / *Renew. Energy* – 2011. – Vol. 36. – P. 3166–3177. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.un.org:10.1016/j.renene.2011.03.016>.

16 **Xu, K.** Quantile based probabilistic wind turbine power curve model. // *Energy*. – 2011 – Vol. 296. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.un.org:10.1016/j.apenergy.2021.116913>.

REFERENCES

1 2020 Smart Grid System Report // US Department of Energy – 2020. – [Electronic resource] – URL: https://www.energy.gov/search/site?keywords=Grid+Modernization+and+Smart+Grid&sort_by=search_api_relevance (Date of the application : 07.02.2024).

2 Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all / J.Wu, T., Wu // un.org – 2015. – № 4. [Electronic resource] – URL: <https://www.un.org/ru/chronicle/article/22193> (Date of the application : 06.02.2024).

3 Sustainable Development Agenda // UN – 2020. [Electronic resource] – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/> (Date of the application : 07.02.2024).

4 IRENA : Innovation landscape for a renewable-powered future [Electronic resource]. – Access mode : <https://nangs.org/analytics/irena-innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future-february-2019-eng-pdf> (Date of the application : 06.02.2024).

5 **Opadchi, F.** Otveti na globalnie vizovi mozhno naiti tolko sovmestno [Answers to global challenges can only be found together] : Gazeta Energika i promyshlennost Rossii – 2019. – № 18 (374) [Electronic resource] – Access mode: <https://www.eprussia.ru/epr/374/9315497.htm> (Date of the application 07.02.2024).

6 **Budzko, I. A.** Electrosnabzhenie selskogo hozhaistva : uchebniki i uchebnie posobia dla studentov vishih uchebnykh zavadeni [Electricity supply for agriculture : textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions] / Budzko, I. A., Lechinckaya T. B., Sukmanov V. I. – Moscow : Kolos, 2000, P. 20–47.

7 **Fedorov, A. A.** Electrosnabzhenie promichlennnikh predpriyati : ucheb. dla vuzov [Power supply of industrial enterprises: studies. for universities] / Fedorov A. A., Ristkhein E. M. – Moscow : Energya, 1980. – 360 p.

8 Raspisanie pogody [Electronic resource] – Access mode: http://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9F%D0%B0

[%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B5](#) (Date of the application 07.02.2024).

9 **Suri, M., Cebecauer, T., Skoczek, A., Marais, R., Mushwana, C., Reinecke, J., Meyer, R.** Cloud cover impact on photovoltaic power production in South Africa – Academica, 2020 – Access mode: [Electronic resource]. – https://www.academia.edu/14259100/cloud_cover_impact_on_photovoltaic_power_production_in_south_africa (Date of the application : 07.02.2024).

10 Spherichkaya astronomia ucheb. posobie dla studentov 1 kursa [Spherical Astronomy : a textbook for 1st year students] / Fizik faculsiti Ural federal universitet imeni pervogo prezidenta Rossi B. N. El'sina – Ekaterinburg, 2011–88 p.

11 **Machonkina, L. I.** Zadachi i uprazhneniya po obchi astronomii: metodicheskoe posobie k praktikumu po obchi astronomii [Tasks and exercises in general astronomy: a methodological guide to the workshop on General Astronomy] / Machonkina L. I., Suleimanov V. F.; Fizik faculsiti Kazanskogo Gosudarstvennogo Univesiteta FPZ Interraziya. Nazemnaya astronomiya, – Kazan, 2002.

12 **Kravchenko, E. V., Kravchenko, V. P., Tkacheva, E. N.** Opreделение optimal'nogo ugla naklona solnechnogo kollektora v zavisimosti ot dlitel'nosti raboty v techenie goda [Determination of the optimal angle of inclination of the solar collector depending on the duration of operation during the year] / Refrigeration Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 52. – Iss. 1. – P. 35–41. <https://doi.org/10.21691/ret.v52i1.37>.

13 **Wang, Z. M., Wang, X., Liu, W. M.** Genetic least square estimation approach to wind power curve modelling and wind power prediction. – 2023. – Vol. 9188. – Iss. 13 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36458-w>.

14 **Hagspiel, S., Papaemmanouil, A., Schmid, M. & Andersson, G.** Copula-based modeling of stochastic wind power in Europe and implications for the Swiss power grid // Energy. – 2012 – Vol. 96. – P. 33–44. – <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.039>.

15 **Tapar, V., Agnihotri, G. & Sethi, V. K.** Critical analysis of methods for mathematical modelling of wind turbines. / Renew. Energy – 2011. Vol. 36. - P. 3166–3177. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.016>.

16 **Хи, К.** Quantile based probabilistic wind turbine power curve model. // Energy. – 2011 – Vol. 296.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116913>.

Поступило в редакцию 13.02.24.

Поступило с исправлениями 10.02.24.

Принято в печать 01.03.24.

*М. Т. Азаматов¹, М. В. Ярославцев¹, О. М. Талипов¹, Е. А. Спиридонов²
Н. А. Испулов¹

¹Торайгыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті" ФГБОУ,

Ресей Федерациясы, Новосибирск қ.;

13.02.24 ж. баспаға түсті.

10.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.24ж. басып шығаруға қабылданды.

АВТОНОМДЫ ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІН САҚТАУ ЖӘНЕ ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІМЕН МОДЕЛЬДЕУ

Жұмыста жаңартылатын энергия көздерінен қуат алатын автономды энергия жүйесі құрамындағы энергия көздері мен тұтынушылардың бірлескен жұмысын сипаттайтын ықтималдық моделі ұсынылған. Күн панельдерінің энергия өндіру процесінде пайда болатын факторлар, жабдықтың географиялық орналасуының әсері қарастырылады. Метеорологиялық бақылау деректеріне негізделген Модель энергия көздерінің қуатын есептеу үшін Күннің қозғалысын, бұлттылықты және желдің күшін ескереді.

Ұсынылған модель автономды энергия жүйесінің энергия көздерінің қуатын, сондай-ақ энергия сыйымдылығы мен энергия сақтау қуатын анықтауға мүмкіндік береді. Оның көмегімен ауа-райының энергия көздерінің сипаттамаларына, энергия көздерінің қуаты мен энергияны сақтау сыйымдылығы арасындағы қатынастарға, энергия көздерінің техникалық сипаттамаларына және басқа факторларға әсерін зерттеуге болады.

Тәулік уақыты мен маусымдық тұрғысынан тұтыну режимдерін зерттеу жүктемені басқарудың оңтайлы әдістерін қолдануға мүмкіндік береді және тұтынудың максималды және минималды мәндерін анықтау. Алынған есептеу моделі сыртқы жаңартылатын көздер мен энергия жинақтағышты автономды энергетикалық жүйеде әртүрлі аймақтар мен жылдар бойы қолданудың тиімділігін салыстыруға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия көздері, энергияны сақтау, автономды Энергетикалық жүйе, күн электр станциясы, жел электр станциясы.

* M. T. Azamatov¹, M. V. Yaroslavtsev¹, O. M. Talipov¹, E. A. Spiridonov²
N. A. Ispulov¹

¹Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

²Novosibirsk State Technical University, Russian Federation, Novosibirsk
Received 13.02.24.

Received in revised form 10.02.24.

Accepted for publication 01.03.24.

MODELING OF AN AUTONOMOUS POWER SYSTEM WITH STORAGE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

The paper proposes a probabilistic model describing the joint work of energy sources and consumers as part of an autonomous energy system powered by renewable energy sources. The factors arising in the process of energy generation by solar panels, the influence of the geographical location of the equipment are considered. Based on meteorological observations, the model takes into account the movement of the Sun, cloud cover and wind strength to calculate the power of energy sources.

The proposed model makes it possible to determine the power of energy sources of an autonomous power system, as well as the energy intensity and power of an energy storage device. With its help, the influence of weather conditions on the characteristics of energy sources, the ratio between the power of sources and the energy intensity of an

energy storage device, the technical characteristics of energy sources and other factors can be studied.

The study of consumption modes in the context of time of day and seasonality makes it possible to apply optimal load management methods and determining the maximum and minimum consumption values. The resulting calculation model will allow comparing the efficiency of using external renewable sources and an energy storage device in an autonomous energy system for different regions and over different years.

Keywords: renewable energy sources, energy storage, autonomous energy system, solar power plant, wind power plant.

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz