

ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

А.К. Киргизов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В статье рассмотрены основные вопросы создания гибридного энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии в горных регионах страны. Из-за непредсказуемости выработки мощности от ВИЭ, особенно солнечной и ветровой, поддержание баланса мощности и частоты является первоочередной задачей создания энергокомплекса. На сегодняшний день существует много способов поддержания баланса мощностей комплекса на основе ВИЭ. В статье предложен метод поддержания баланса мощностей и регулирования частоты на основе использования бассейна суточного реагирования и сверхпроводящего магнитного хранилища энергии. Использование сверхпроводящего магнитного хранилища энергии дает возможность быстрого регулирования частоты до того как частота начнет регулироваться с помощью гидрогенераторов МГЭС.

Ключевые слова: энергокомплекс, бассейн суточного регулирования, энергия, солнечный, частота, баланс, ресурс, потенциал, источники.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГИБРИДНОЙ ДАР АСОСИ МАНБАҶОИ БАҶҚАРОРШАВАНДАИ ЭНЕРГИЯ БО ЗАХИРАКУНАНДАИ ЭНЕРГИЯ

А.К. Қирғизов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар ин мақола масъалаҳои калидии сохтани комплекси энергетикӣ гибридӣ, ки бо истифодаи манбаҳои бақароршавандаи энергия дар минтақаҳои қӯҳистони кишвар асос ёфтаанд, баррасӣ мешаванд. Аз сабаби пешгуинашаванда будани истеҳсоли электроэнергия аз манбаҳои бақароршавандаи энергия, бахусус офтоб ва шамол, нигоҳ доштани тавозуни нерӯи барқ ва басомад ҳангоми сохтани комплекси энергетикӣ гибридӣ вазифаи аввалиндараҷа мебошад. Дар айни замон, роҳҳои зиёди нигоҳ доштани тавозуни нерӯи барқ дар комплекси энергетикӣ бо манбаҳои бақароршавандаи энергия мавҷуданд. Дар ин мақола усули нигоҳ доштани тавозуни нерӯи барқ ва танзими басомад бо истифода аз ҳавзи танзими шабонарӯзӣ ва нигоҳдории энергияи магнитии фавқулоқии баррасӣ мешавад. Истифодаи нигоҳдории энергияи магнитии фавқулоқӣ имкон медиҳад, ки басомад тезтар танзим карда мешавад то мавриде, ки аз ҷониби генераторҳои нерӯҳои хурди барқи обӣ (SHPP) нигоҳдории басомад таъмин карда шавад.

Калидвожаҳо: комплекси энергетикӣ, ҳавзи танзими шабонарӯзӣ, энергия, офтоб, басомад, тавозун, захира, потенциал, манбаҳо.

OPTIMIZATION OF A HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM WITH ENERGY STORAGE

A.K. Kirgizov

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article examines the key issues involved in creating a hybrid power complex based on renewable energy sources in the country's mountainous regions. Due to the unpredictability of power generation from renewable energy sources, particularly solar and wind, maintaining the power and frequency balance is a primary task when creating a power complex. Currently, there are many ways to maintain the power balance of a renewable energy complex. This article discusses a method for maintaining the power balance and regulating the frequency using a diurnal response pool and superconducting magnetic energy storage. The use of superconducting magnetic energy storage enables rapid frequency maintenance before the frequency is regulated by small hydroelectric power station (SHPP) generators.

Keywords: power complex, diurnal response pool, energy, solar, frequency, balance, resource, potential, sources.

Введение

Ускорение мирового энергетического кризиса и все увеличивающийся выброс парниковых газов в атмосферу требуют кардинального подхода к использованию новых видов источников для выработки энергии. Возобновляемые источники в виде энергии солнца, ветра и других источников являются наиболее приемлемыми источниками энергии.

Эти виды энергии являются привлекательными с точки зрения экологии, но имеют один существенный недостаток, заключающийся в непостоянстве этих видов энергии во временном интервале. В Таджикистане из-за отсутствия собственных ресурсов традиционной энергии в виде нефти и газа большое предпочтение отдается использованию возобновляемой энергии. На правительственном уровне были приняты законы, которые стимулируют использование этих ресурсов [1].

Таджикистан - горная страна и 93% её территории - это горные массивы, в которых проживают около 70 % населения страны. Обеспечение населения электроэнергией особенно в горных и труднодоступных районах является приоритетной задачей, которую правительство поставило перед энергетиками. Из-за географического расположения страны потенциал энергии солнца в стране очень значительный, да и других источников предостаточно. Эти источники с точки зрения воздействия на экологию являются очень привлекательными, но с точки зрения обеспечения надёжного энергообеспечения имеют ряд недостатков. Основным недостатком является непостоянность этих источников и невозможность увеличения мощности по требованию потребителей. Для повышения уровня надёжности и доступности энергии солнца, ветра и др. в суточном интервале необходимо комбинировать их в одной системе, которая уменьшает неопределённость и увеличивает надёжность электроснабжения. Применение комбинированных гибридных систем для работы в автономном режиме и в составе существующей системы с двунаправленной интеллектуальной системой учёта является наиболее предпочтительным вариантом электроснабжения. Как показывает анализ потребления электроэнергии, с повышением уровня благосостояния оно с каждым годом будет расти, что приведет к дополнительной нагрузке на передающие сети. Создание гибридного центра позволяет подключить его к в любой точке распределённой сети или в автономном режиме. Даже создание комбинированного гибридного центра на основе ВИЭ не может обеспечивать 100%-ную надёжность энергоснабжения потребителей. Для решения этой проблемы необходимо внедрение системы аккумулирования энергии в любом его виде [2].

Схема предлагаемой системы гибридного комплекса

Для условий горных районов Таджикистана наиболее приемлемым вариантом использования ВИЭ является солнечная и гидроэнергия. Энергии ветра по всей территории Таджикистана недостаточно для широкого применения. Поэтому существующие комплексы основаны на применении энергии солнца и воды. Использование возобновляемых источников энергии наряду с преимуществом по снижению выбросов парниковых газов, снижению зависимости от полезных ископаемых имеет и ряд недостатков, связанных с метеорологическими и географическими факторами. Предлагаемый вариант комплекса включает в себя солнечную электростанцию, гидроэлектростанцию с бассейном суточного регулирования (или гидроаккумулирующую электростанцию) и сверхпроводящий накопитель магнитной энергии. Такая схема создания комплекса позволяет повысить надёжность электроснабжения потребителей [3].

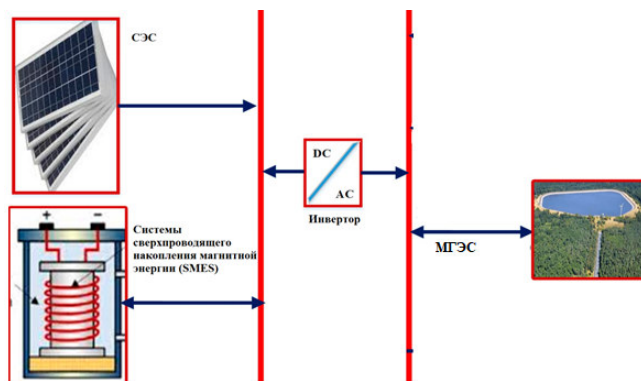


Рисунок 1 – Схема гибридного комплекса
Figure 1 – Schematic Diagram of the Hybrid Complex

Математическое моделирование каждого блока гибридного энергокомплекса

Моделирование солнечной электростанции

Солнечная электростанция состоит из большого количества солнечных панелей, соединённых между собой по принятой схеме

$$P_{\text{СЭС}}(t) = n_{\text{СЭС}} + A_{\text{СЭС}} + \eta_{\text{СЭС}} + \lambda(t) \quad (1)$$

где $n_{\text{СЭС}}$ – количество солнечных панелей;
 $A_{\text{СЭС}}$ – площадь солнечной электростанции;
 $\eta_{\text{СЭС}}$ – коэффициент полезного действия;
 $\lambda(t)$ – интенсивность солнечного излучения.

Эффективность работы солнечных станций зависит от многих внешних факторов, таких как уровень солнечного излучения, температура окружающей среды, которая действует на панель, и коэффициент полезного действия панелей. Вышеперечисленные параметры изменяются в суточном интервале и снижают выдаваемую мощность станции. КПД станций с учётом вышеприведённых воздействий можно определить по уравнению 2, где также учитывается эффективность СЭС с отслеживанием точки максимальной мощности.

$$\eta_{\text{СЭС}}(t) = \eta_{\text{Э}} \eta_{\text{ОТММ}} \times \left[1 - \beta_{\text{T}} (T_{\text{Ф}} - 25) - \beta_{\text{T}} \lambda(t) \times \left(\frac{T_{\text{T}} - 20}{800} \right) \times (1 - \eta_{\text{Э}} \eta_{\text{ОТММ}}) \right] \quad (2)$$

где, $\eta_{\text{Э}}$ – эталонный коэффициент полезного действия;
 $\eta_{\text{ОТММ}}$ – коэффициент полезного действия с отслеживанием точки максимальной мощности;
 β_{T} – температурный коэффициент;
 $T_{\text{Ф}}$ – фактическая рабочая температура;
 T_{T} – текущая температура ячейки.

Модель сверхпроводящего магнитного хранилища энергии (SMES)

Сверхпроводящее магнитное хранилище энергии является более приемлемым для гибридных систем, состоящих из ВИЭ. Такая система позволяет работать в режиме обмена энергии с сетью. Преимуществом сверхпроводящего магнитного хранилища энергии прежде всего является чрезвычайно малое время, за которое сверхпроводящая катушка способна принять или отдать накопленную в ее магнитном поле энергию. Это позволяет повысить надёжность электроснабжения потребителей и увеличить устойчивость энергетических комплексов на основе ВИЭ [4].

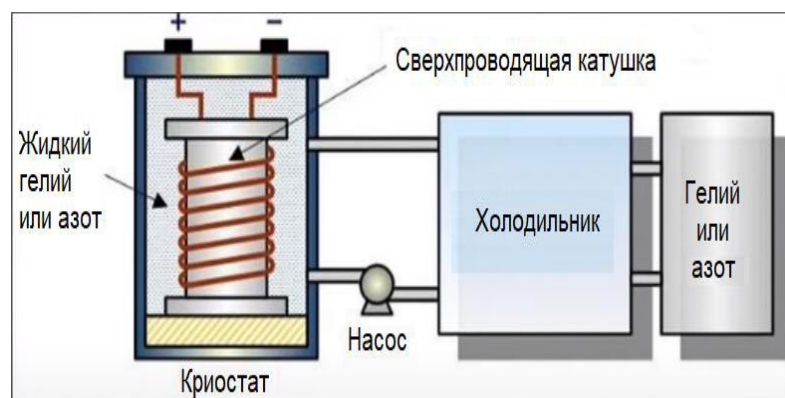


Рисунок 2 – Схема сверхпроводящего магнитного хранилища энергии
 Figure 2 – Schematic Diagram of a Superconducting Magnetic Energy Storage System

$$E_{\text{SMES}} = \frac{1}{2} L I^2 \quad (3)$$

где: L — индуктивность катушки, Г
 I — ток в катушке, А

Мощность определяется как производная энергии по времени:

$$P_{\text{SMES}} = \frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L I^2 \right) = \frac{dI}{dt} L I = V I \quad (4)$$

Модель малой ГЭС с бассейном суточного регулирования

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{\text{приток}}(t) - Q_{\text{расх.турб}}(t) - Q_{\text{хол.сброс}}(t) \quad (5)$$

$V(t)$ — объём воды в бассейне суточного регулирования, м³

$Q_{\text{приток}}(t)$ — приток (река), м³/с

$Q_{\text{расх.турб}}(t)$ — расход через турбину, м³/с

$Q_{\text{хол.сброс}}(t)$ — холостой сброс (обычно 0)

Моделирование инвертора

В системах, работающих от солнечных установок, преобразование постоянного тока в переменный выполняется с помощью электронного устройства - инвертора [5]. Создание модели инвертора основано на следующих выходных данных мощности:

$$P_{\text{инвертор(AC)}}(t) = (P_{\text{катуш-инвертор}}(t) + P_{\text{сол-инверт}}) * \eta_{\text{инверт}} \quad (6)$$

где, $P_{\text{инвертор(AC)}}$ — количество мощности переменного тока, которое солнечные фотоэлектрические панели и СМЭХ передают потребителям,

а $\eta_{\text{инверт}}$ — показатель эффективности работы инвертора.

В данной работе предполагается, что $\eta_{\text{инверт}}$ составляет 90% [4].

Постановка задачи

В основном, проблема систем, состоящих из солнечных и ветровых электростанций, заключается в поддержании частоты системы при различных возмущениях. В большинстве случаев системы из СЭС и ВЭС работают параллельно с МГЭС. Выработка электроэнергии от солнечных и ветровых электростанций имеет непредсказуемый характер, и изменение частоты и баланса мощности ощущается очень значительно. Поэтому быстроты регулирования частоты от МГЭС иногда недостаточно для полного поддержания частоты. Солнечные и ветроэлектростанции должны регулировать частоту в системе с помощью регулирования выдаваемой активной и реактивной мощности в систему, если они работают в составе системы.

Так как использование источников ВИЭ в нашей республике является новым трендом, технических требований и стандартов регулирования частоты в системах с ВИЭ и локальных энергокомплексах пока не существует. Мы можем использовать в работе некоторые стандарты зарубежных стран или России, которые по стандарту создания электроэнергетических инфраструктур являются идентичными с нашими условиями. Научно-технический центр единой энергетической системы ЕЭС России оформил требования к ветряным и солнечным электроэнергетическим установкам, работающим в составе энергосистемы, которые могут быть обобщены при создании требования в условиях нашей республики [5].

Таблица 1 – Значения минимальных периодов времени, в течение которых генерирующее оборудование должно работать без отключения от сети при различных отклонениях частоты от номинального уровня

Table 1 – Values of the Minimum Time Periods During Which Generating Equipment Must Remain Connected to the Grid without Disconnection at Different Frequency Deviations from the Nominal Level

№	Частота Гц	Сетевые кодексы		
		ENTSO-E	E.ON	Рекомендуемая форма задания
		Допустимое время работы		
1	46-47		-	1с
2	47-47,5		-	1 мин
3	47,5-48	30 мин	10 мин	1 мин
4	48-48,5	30 мин	20 мин	5 мин
5	48,5-49	30 мин	30 мин	5 мин
6	49-50	без. огр	без. огр	Без ограничения
7	50-50,5	без. огр	без. огр	Без ограничения
8	50,5-51	без. огр	без. огр	3 мин
9	51-51,5	30 мин	30 мин	Устанавливается заводом-изготовителем

Испытания, которые провели российские ученые на солнечных электростанциях с возможностью участия солнечных электростанций в общем первичном регулировании частоты (ОПРЧ) путём автоматического снижения выдаваемой в электрическую сеть активной мощности электростанции при увеличении частоты, показали, что статизм первичного регулирования частоты должен находиться в пределах $4\div 6\%$, а верхняя граница первичного регулирования частоты не должна превышать 50,075 Гц. Такие условия в основном соответствуют при подключении к системе [6].

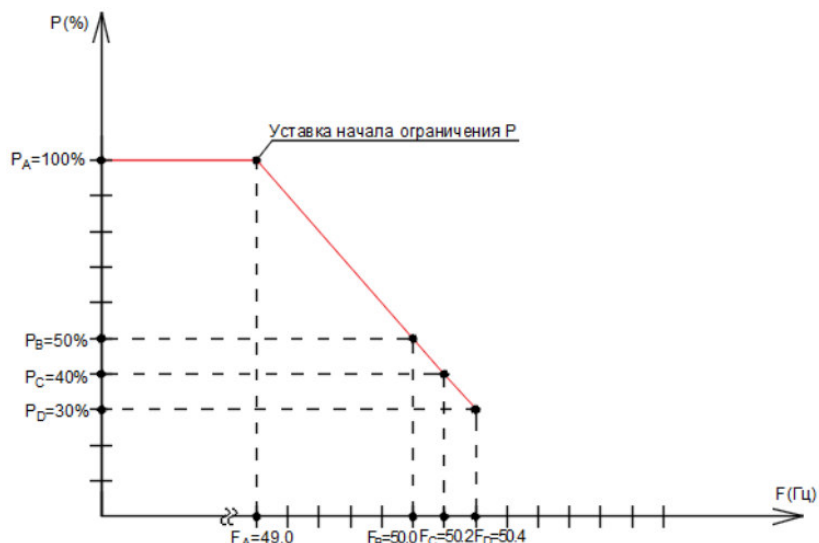


Рисунок 3 – Задаваемая характеристика функции ограничения активной мощности с уставкой по частоте 49,0 Гц; уставка по времени начала ограничения мощности – 10 секунд

Figure 3 – Specified Characteristic of the Active Power Limitation Function with a Frequency Setpoint of 49.0 Hz and a Power Limitation Start Time Delay Setting of 10 Seconds

В локальных сетях, которые состоят из источников ВИЭ, это более затруднительно из-за отсутствия дополнительных источников э.д.с., которые позволяли бы быстро регулировать частоту и поддерживать баланс мощности. В таких системах наиболее приемлемым является использование системы сверхпроводящего магнитного хранилища энергии для быстрого регулирования частоты и поддержания баланса.

Управление баланса мощности, особенно для изолированной системы:

$$\Delta P = P_{\text{МГЭС}} + P_{\text{СЭС}} + P_{\text{СМХЭ}} - P_{\text{НАГР}} \quad (7)$$

Отклонение частоты системы:

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta P}{2Hf_0}$$

H — суммарная инерция системы

$$f_0 = 50 \text{ Гц}$$

СМЭХ компенсирует быстрые изменения ΔP , особенно от СЭС.

Заключение

В последние годы из-за изменения климата и меморандума о снижении выброса парниковых газов в атмосферу во всем мире наблюдается резкий скачок использования возобновляемых источников энергии. Большинство стран приняли краткосрочные и долгосрочные программы по развитию и внедрению источников ВИЭ в национальную экономику [7].

Однако одной политической воли для внедрения источников ВИЭ недостаточно. Внедрение ВИЭ в систему или создание локальных комплексов на основе ВИЭ, особенно в нашей стране требует технических стандартов и ГОСТ-ов, которые позволяют не нарушать работоспособность существующих систем и регулировать режим работы локальных систем. Основным требованием к

локальным энергокомплексам является недопустимость отключения генерирующей мощности при разных отклонениях, в особенности снижения частоты из-за нарушения баланса мощности. Предложенный выше метод гибридного комплекса и сверхпроводящего магнитного хранилища энергии для быстрого регулирования частоты и бассейна суточного регулирования для поддержания баланса является более приемлемым для наших условий.

Рецензент: Дийрзода Р.Х., к.т.н., доцент кафедры АЭТ и ЭМ ЛЭПГУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Киргизов, А. К. Стохастическая модель прогнозирования генерации электроэнергии солнечной фотоэлектрической панели / А. К. Киргизов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2020. – № 4(52). – С. 21–26. – EDN KULMJW.
2. Иноят, М. Б. К вопросу об использовании малой гидроэнергетики применительно к условиям Республики Таджикистан / М. Б. Иноят, А. К. Киргизов // Вестник Таджикского технического университета. – Душанбе: ТТУ имени акад. М. С. Осими, 2008. – № 2. – С. 38–42. – ISSN 2075 177X.
3. Andishgar, M. H. An overview of control approaches of inverter based microgrids in islanding mode of operation / M. H. Andishgar, E. Gholipour, R. A. Hooshmand // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2017. – Vol. 80. – P. 1043–1060.
4. Gezahegn, G. T. The hybrid power generation and balancing energy supply–demand for rural village in Ethiopia / G. T. Gezahegn, S. D. Hatiye, M. T. Ayana, A. T. Ayalew, T. T. Minda // OPEC Energy Rev. – 2022. – Vol. 47. – P. 55–70.
5. Коваленко, Е. В. Гибридные энергетические комплексы с когенерацией в изолированных энергетических системах / Е. В. Коваленко, М. Г. Тягунов // Альтернативная энергетика и экология (ISJAE). – 2015. – № 10–11. – С. 167–177. – DOI: 10.15518/isjaee.2015.10 11.015.
6. Шарифов, Б. Н. Управление электромагнитными переходными процессами в системе регулирования выходными параметрами солнечной электростанции в условиях Республики Таджикистан / Б. Н. Шарифов, Р. Х. Диев, О. М. Сайфуллоева, У. У. Косимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 3(59). – С. 11–20. – EDN DGPJOM.
7. Исмагилов, Ф. Р. Исследование параллельной работы солнечной электростанции с сетью / Ф. Р. Исмагилов, Б. Н. Шарифов, Б. М. Гайсин, Т. Р. Тергулов, Н. Л. Бабкина // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2016. – № 4(74). – С. 71–79.

Reference

1. Kirgizov, A.K. Stochastic model for forecasting electricity generation from a solar photovoltaic panel / A.K. Kirgizov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. - 2020. - No. 4 (52). - Pp. 21-26. - EDN KULMJW.
2. Inoyatov, M.B. On the issue of using small hydropower in relation to the conditions of the Republic of Tajikistan / M.B. Inoyatov, A.K. Kirgizov // Bulletin of the Tajik Technical University. - Dushanbe: TTU named after academician M.S. Osimi, 2008. - No. 2. - Pp. 38-42. - ISSN 2075-177X.
3. Andishgar, M. H. An overview of control approaches of inverter-based microgrids in islanding mode of operation / M. H. Andishgar, E. Gholipour, R.-A.Hooshmand // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2017. – Vol.80. – P. 1043–1060.
4. Gezahegn, G. T. The hybrid power generation and balancing energy supply–demand for rural villages in Ethiopia / G. T. Gezahegn, S. D. Hatiye, M. T. Ayana, A. T. Ayalew, T. T. Minda // OPEC Energy Rev. – 2022. – Vol.47. – P. 55–70.
5. Kovalenko, E. V. Hybrid energy complexes with cogeneration in isolated energy systems / E. V. Kovalenko, M. G. Tyagunov // Alternative Energy and Ecology (ISJAE). - 2015. - No. 10-11. - P. 167-177. - DOI: 10.15518/isjaee.2015.10-11.015.
6. Sharifov, B. N. Control of electromagnetic transient processes in the control system of the output parameters of a solar power plant in the conditions of the Republic of Tajikistan / B. N. Sharifov, R. Kh. Dierov, O. M. Sayfulloeva, U. U. Kosimov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. - 2022. - No. 3 (59). – P. 11–20. – EDN DGPJOM.
7. Ismagilov, F. R. Study of parallel operation of a solar power plant with the grid / F. R. Ismagilov, B. N. Sharifov, B. M. Gaisin, T. R. Teregulov, N. L. Babkina // Bulletin of Ufa State Aviation Technical University. – 2016. – No. 4 (74). – P. 71–79.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Киргизов Алифбек Киргизович	Киргизов Алифбек Киргизович	Kirgizov Alifbek Kirgizovich
дотсент	доцент	Associate Professor
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ имени акад. М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
E.mail: alifbekkirgizov@gmail.com		
ORCID Id 0000-0001-6603-1393		