

Section 10. Electrical engineering

<https://doi.org/10.29013/EJTNS-22-6-164-175>

*Rustamov Nasim Tulegenovich,
Doctor of Technical Sciences, prof.
International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi*

*Egamberdiev Bakhrom Egamberdievich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, prof.
Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics
at the National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

*Mavlyanov Abdulaziz Shavkatovich,
PhD in physics and mathematics. sciences,
senior researcher Research Institute of Physics
of Semiconductors and Microelectronics
at the National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

*Babakhan Shohruh Abdilkasymuly,
master, teacher of the International Kazakh-Turkish University
named after Khoja Ahmed Yasawi*

MECHANISMS FOR CONNECTING AUTONOMOUS HYBRID WIND TURBINES TO A COMMON DISTRIBUTION NETWORK

Abstract. In this paper, the issue related to improving the efficiency of managing the operation of stand-alone hybrid wind power plants (HWPP) is considered. For this purpose, the so-called distributed energy generation system (DEGS) is proposed. In fact, such a system in one HWPP combines various sources generating electrical energy, which, makes it possible to take into account individual characteristics of the consumer in terms of power and profile. The increase in the share of such systems in electric power systems has not only positive aspects, but also creates certain technical difficulties associated with their control capabilities in normal and emergency conditions. It is shown that the most promising option for interfacing various sources of electricity in one HWPP is the use of an intermediate DC embedded unit. It is assumed that the use of a DC unit makes it easier to summarize and distribute the energy flows from the HWPP using effective control algorithms for

this process, thereby making maximum use of kinetic energy of wind flow and solar radiation energy. An optimal option for integrating several HWPP called the “distributed generation system” into a distribution network has been proposed.

Keywords: Hybrid, distribution network, integration, HWPP, DC embedded unit, magnetic blade, wind energy, solar radiation.

*Рустамов Насим Тулегенович,
д.т.н., проф. Международный*

казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави

Эгамбердиев Бахром Эгамбердиевич,

*д.ф.м.н., проф. НИИ физики полупроводников и микроэлектроники
при Национальном университете Узбекистана, Ташкент, Узбекистан*

Мавлянов Абдулазиз Шавкатович,

PhD по физ.-мат. наукам, с.н.с.

*НИИ физики полупроводников и микроэлектроники
при Национальном университете Узбекистана, Ташкент, Узбекистан*

Бабахан Шохрух Абдилкасымулы,

магистр, преподаватель Международного

казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави

МЕХАНИЗМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ГИБРИДНЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ В ОБЩУЮ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ

Аннотация. В данной работе рассматривается вопрос, связанный с повышением эффективности управления работы автономных гибридных ветроэнергетических установок (ГВЭУ). Для этого предлагается так называемая система распределенной генерации энергии (СРГЭ). По сути, такая система в одной ГВЭУ объединяет различные источники, генерирующие электрическую энергию, которые учитывают индивидуальные особенности потребителя с точки зрения мощности и профиля. Рост доли таких систем в электроэнергетических системах имеет не только положительные стороны, но и создает определенные технические трудности, связанные с их возможностями управления в нормальных и аварийных условиях. Показано, что наиболее перспективным вариантом сопряжения различных источников электроэнергии в одной ГВЭУ является использование промежуточной вставки постоянного тока. Предполагается, что использование вставки постоянного тока позволяет более просто суммировать и распределять потоки энергии из ГВЭУ, использовать эффективные алгоритмы управления для этого процесса, тем самым максимально используя кинетическую энергию ветрового потока и энергии солнечной радиации. Предложена рациональная схема интеграции нескольких ГВЭУ, называемой системой распределенной генерации в распределительную сеть.

Ключевые слова: Гибридная, распределительная сеть, интеграция, ГВЭУ, вставка постоянного тока, магнитная лопасть, ветровая энергия, солнечная радиация.

Введение

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) – это устройство, преобразовывающее кинетическую энергию ветра в электрическую. Особенностью этих установок является отсутствие необходимости в каком-либо сырье, так же отсутствие отходов. В принципе, это косвенный способ извлекать энергию солнца, поскольку большие массы воздуха, имеющие разную температуру, образуют известные нам циклоны и антициклоны, способствующие появлению ветра. Встречаются различные виды ВЭУ: с горизонтальной осью вращения и с вертикальной осью. Первые известны достаточно давно и применяются повсеместно. Для работы таких ВЭУ требуется стабильный ветер от 4 м/с. Лопасти напоминают лопасти самолета, скорость их вращения значительна. Второй тип – ВЭУ с вертикальной осью появились относительно недавно. Таким устройствам не требуется такой сильный ветер – они способны работать и при более слабых потоках. Скорость вращения лопастей несколько ниже. Такое разнообразие лопастей этих установок связано с повышением эффективности использования потока ветровой энергии.

Баланс научных данных и человеческого опыта на сегодняшний день четко делает вывод, что ВЭУ не являются вредными для здоровья человека – на самом деле, энергия ветра снижает количество вредных выбросов в атмосферу и не создает никаких вредных отходов производства, по сравнению с другими источниками электроэнергии [1]. В таких случаях ветровые проекты имеют востребованность и являются эффективными в смысле коротко-

го периода строительства и могут быть быстро развернуты с положительными последствиями, доставленных местным общинам. Производительность таких проектов в первой очереди зависит от эффективной работы ВЭУ, т.е. от эффективного использования ветрового потока. От этого во многом зависит себестоимость выработанной электроэнергии ВЭУ. Существует множество конструкций, решающих данную задачу [2; 3; 4; 5].

Дальнейшее развитие технологии пользования ВЭУ показывает, что создание системы распределенной генерации электроэнергии с использованием ВЭУ имеет хорошие перспективы [6; 7].

Как известно, задачей современных электрических систем является постоянное балансирование спроса и предложения, гибкое управление сетью и обеспечение оптимального уровня энергоэффективности. Эти проблемы могут быть решены, но в тоже время диспетчерское и автоматическое управление системой распределенной генерации энергии усложняется. Необходимо разработать новые математические модели для обоснования развития электроэнергетической системы и систем электроснабжения [8].

Большинство автономных энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ), которые находятся в эксплуатации и предлагаются на рынке, являются технически готовыми продуктами, адаптированными для строго определенного типа энергетического оборудования. Они обеспечивают возможность расширения их функциональности и наращивания потенциала путем

подключения новых источников генерации. Эта ситуация объясняется, главным образом, тем, что параметры электрической энергии, существенно различаются по основным техническим показателям, таким как тип тока, частота и величина выходного напряжения.

Если система распределенной генерации электроэнергии (СРГЭ) состоит из гибридной ВЭУ (рис1) [3], имеющей магнитную лопасть и вырабатывающей индукционный ток i_2 , то это означает, что установлен асинхронный двигатель, вырабатывающий переменный ток i_1 , а на мачтах прикреплены солнечные панели, в свою очередь, вырабатывающие постоянный ток i_3 . В таком случае эффективное управления подобной системой зависит от возможности одностадийного снабжения потребителя электрической энергией [9; 10]. Представим, что система распределенной генерации энергии состоит из n - гибридных ВЭУ (ГВЭУ). В этом случае одностадийное снабжения электроэнергией потребителя будет зависит от эффективности управления распределением выработанной электроэнергии.

Для электроснабжения потребителей децентрализованных зон можно широко применять СРГЭ на базе ГВЭУ. При этом генераторы для ГВЭУ обычно выбирают по суммарной присоединенной мощности одновременно работающих электроприемников, которая определяется за получасовой максимум в интервале времени с наибольшей нагрузкой с учетом их среднего коэффициента мощности [11]. При создании технологического графика для работы СРГЭ сначала рассматривают процессы, которые необходимо обеспечить в полном объеме, затем те, которые могут обслуживаться в ограниченном диапазоне мощности. Следует также стремиться уменьшать расчетную

нагрузку, снижая требуемую мощность по некоторым процессам, переносить отдельные процессы на другое время суток и т.п.

Методика эксперимента

Один из таких ГВЭУ, применяемых для СРГЭ, показан на рис..1, который вырабатывает электрическую энергию. Установка состоит из мачты 1, солнечной панели 2, магнитных лопастей 3, генератора 4, индукционной катушки 5, выпрямителя 6, контроллера 7, аккумуляторов 8, переключателя 9, инвертора 10, байпаса 15, счетчика электрической энергии и распределительной сети 1.

ГВЭУ работает следующим образом (рис. 1). Под действием ветра магнитные лопасти 3 вырабатывая электрический ток 13 с помощью генератора 4, создает вокруг себя магнитное поле, который пересекая обмотки индукционной катушки, вырабатывает индукционный ток 12. Ток, вырабатываемый на солнечных панелях 14, электрический ток из генератора 13 и индукционный ток 9 подаются на выпрямитель 6. Выпрямленный ток через контроллер 7 передается на аккумуляторы 8 и через переключатель 9 эти токи отправляются на инвертор 10. Из инвертора 10 электроэнергия подается потребителям 11. ГВЭУ с аккумуляторами батареями и коммутация с сетью 15 АВР (байпас) позволяет переключить питание объекта при отсутствии ветра и полном разряде аккумуляторов на распределительную электросеть 16 через счетчик 17. Эта же схема может использоваться в обратном направлении – ГВЭУ, как резервный источник питания. В этом случае АВР переключает потребителя на аккумуляторные батареи ГВЭУ при потере питания от распределительной электросети.

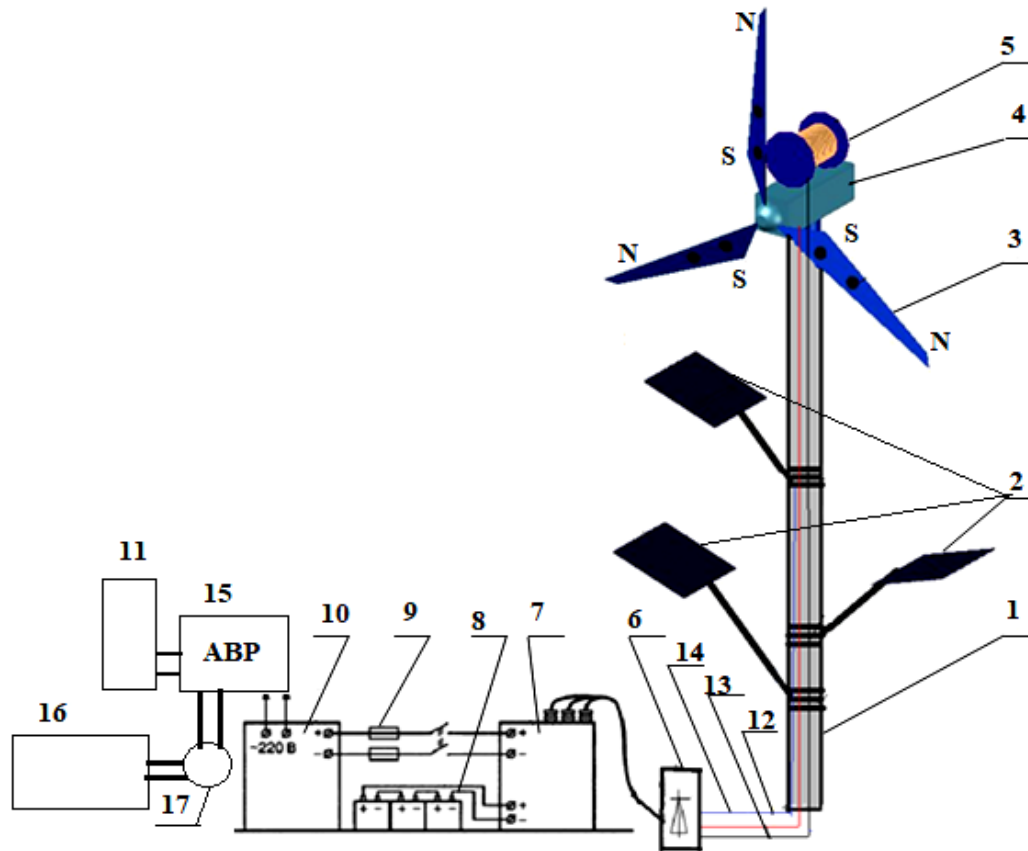


Рисунок 1. Общий вид гибридной ветроэнергетической установки (ГВЭУ)

Частично перебои в электропитании устраняются путем использования потребителем системы бесперебойного электропитания. Выбранную нами в качестве прототипа установку можно использовать при создании СРГЭ, которая в свою очередь состоит из накопителя электроэнергии в виде электрохимических аккумуляторов (АБ), зарядного устройства АБ от электросети или другого источника, например, солнечной батареи, инвертора напряжения (преобразующего постоянный ток АБ в переменный ток) и устройства защиты АБ от глубокого разряда. Задачей такой системы является повышение эффективности управления использованием постоянного и переменного электрического тока, выработанных ГВЭУ для потребителей.

Целью данной работы является разработка метода интеграции и эффективного управления режимами работы системы распределенной генерации энергии, основанной на гибридных ветроэнергетических установках.

В качестве метода решения выбрана система распределенной генерации, состоящая из ГВЭУ, подключенной к распределительной сети, которая требует за каждый час расчетного периода проведения оценки распределительной нагрузки между генерирующими мощностями.

Результаты и их обсуждение

Основной отличительной чертой ГВЭУ является стохастический характер параметров источника первичной энергии. Это в значительной степени относится к гелио- и ветроэнергетике. Поэтому электрическая

энергия, генерируемая агрегатами ГВЭУ, создает новые проблемы перед и так уже перегруженной сетью. С другой стороны, ГВЭУ обычно выбирают по суммарной присоединенной мощности одновременно работающих электроприемников, которая определяется за получасовой максимум в интервале времени с наибольшей нагрузкой с учетом их среднего коэффициента мощности [12; 13].

При подключении к распределительной сети ГВЭУ одной из основных задач, которые необходимо выполнить за каждый час расчетного периода, является распределение нагрузок между генерирующими мощностями. В работе предлагается один из возможных способов под-

держания непрерывного во времени равенства генерируемой и потребляемой электроэнергии в системе ГВЭУ. Суть предложенного способа заключается в включении в энергосистему аккумулятора, который сохраняет электроэнергию при ее сокращенном потреблении и после преобразования подает в электрическую сеть при превышении определенного уровня потребления. Схема такой системы показана на (рис. 1).

Учитывая, что около 70% территории Казахстана относится к зонам децентрализованного электроснабжения с высокой себестоимостью электроэнергии, можно говорить о возможности строительства СРГЭ на данных территориях.

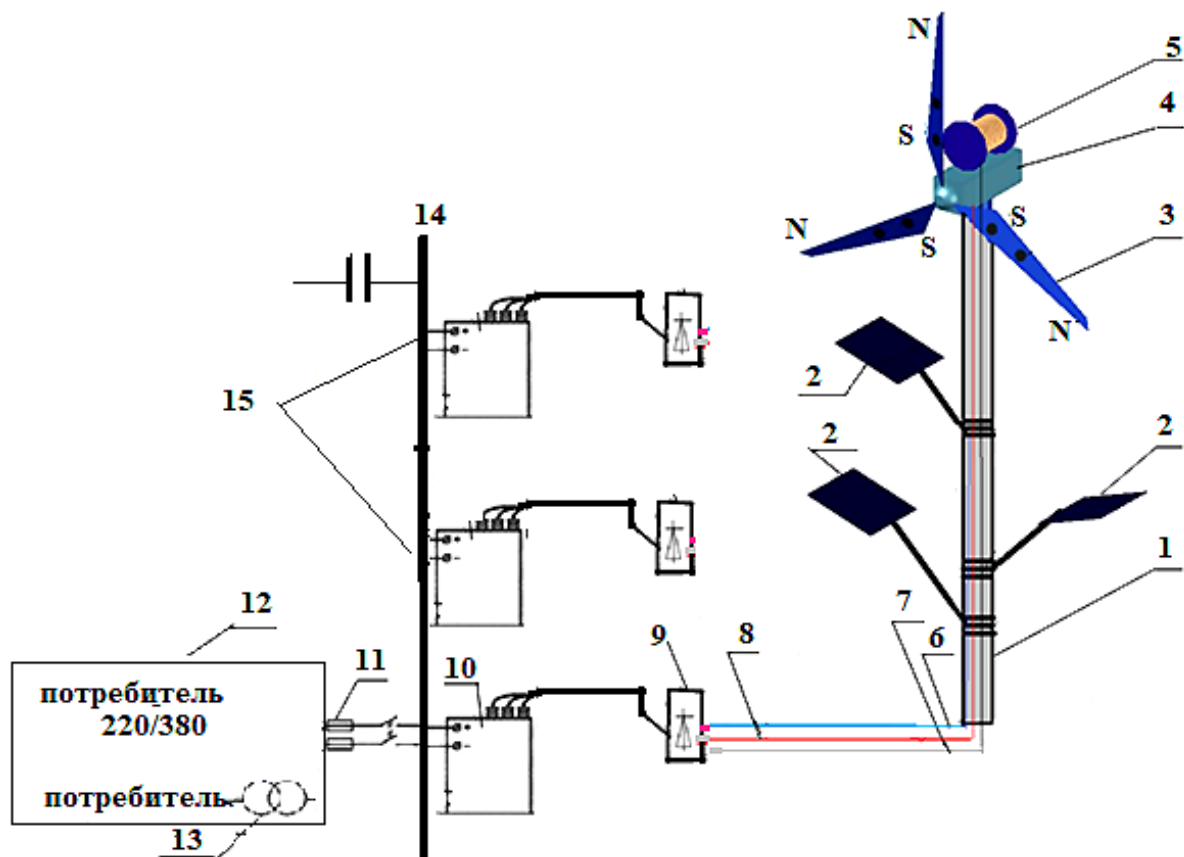


Рисунок 2. ГВЭУ с прямым подключением генерирующих устройств к распределительной сети

В случае работы ГВЭУ на шины бесконечной мощности каждый ГВЭС можно рассма-

тривать как одиночную установку, работающую параллельно с сетью. При соизмеримой

мощности СРГЭ и ГВЭУ требуется использование точного группового регулирования для поддержания заданного напряжения на шинах ГВЭУ.

Когда СРГЭ состоит из группы ГВЭУ, выработка электроэнергии СРГЭ достигается двумя способами.

Первый способ. Этот способ широко распространён, где ГВЭУ подключается непосредственно к распределительной сети без промежуточного преобразования электроэнергии (рис. 2) и работает следующим образом. Под действием ветра магнитные лопасти 3 вырабатывая переменный электрический ток 7 с помощью асинхронного двигателя 4 вокруг себя создает магнитное поле, который пересекая обмотки индукционной катушки, вырабатывает переменный индукционный ток 8. Из инвертора 10 переменный ток подается на шину переменного тока 14, далее

ток 220/380, или 6–10Квт подается потребителям 13 или 16. К 15 подключаются дополнительные гибридные ГВЭУ. Связь с шиной переменного тока осуществляется через автономные инверторы.

Второй способ.

Несмотря на более сложную структуру энергетического комплекса, второй способ имеет следующие преимущества по сравнению с рассмотренным первым способом.

1. В этом случае нет необходимости согласовать режимы работы устройств вырабатывающие электрические энергии.

2. Система легко масштабируется и достаточно проста для решения проблемы электромагнитной совместимости.

3. Благодаря источнику питания потребителей от общего автономного инвертора обеспечивается высокое качество подаваемой электроэнергии.

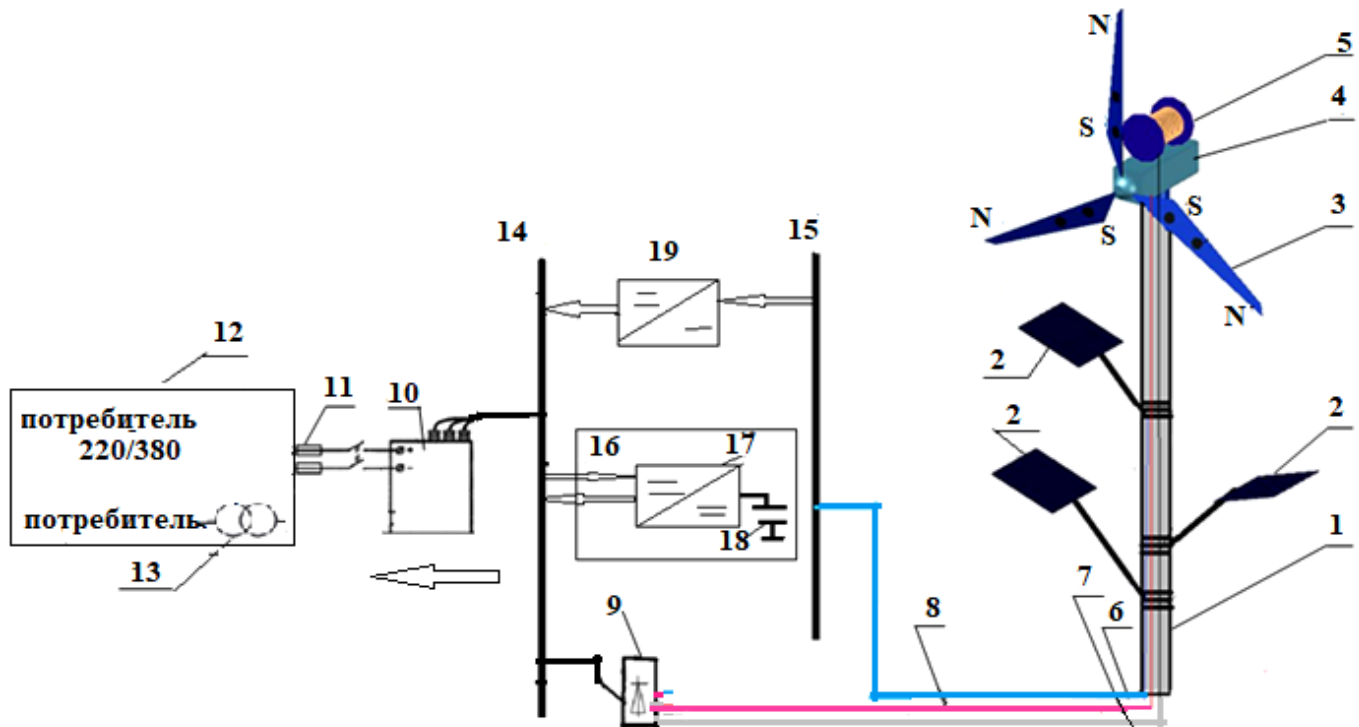


Рисунок 3. ГВЭУ с подключением к промежуточной шине постоянного тока (со смещенным соединением)

При этом должны соблюдаться следующие условия

- обеспечение работы ГВЭУ при заданных условиях;
- регулирование мощности и частоты вращения ротора;
- регулирование активной и реактивной мощности в определенных диапазонах.

Основным требованием по выработке мощности ГВЭУ является организация более или менее равномерной мощности. В общем случае, мощность ГВЭУ является равномерной, склонной к колебаниям только при сезонных изменениях ветра. Сезонные же колебания мощности ГВЭУ практически неустраняемы.

Если доля ГВЭУ в выработке мощности достигает 15–20% установленной мощности СРГЭ, то колебания мощности ГВЭУ способны влиять на динамическую устойчивость СРГЭ, поэтому вопросам поддержания частоты при колебаниях мощности ГВЭУ уделяется большое значение. Основные требования к ГВЭУ по частоте заключается в поддержании частоты в пределах $f = 50 \pm 0,5$ Гц в течение 97% времени.

Исследование динамической устойчивости СРГЭ, основанной на ГВЭУ, показало необходимость наличия резервов мощности в системе, соизмеримой с полной мощностью ГВЭУ. Традиционные электростанции должны быть в состоянии оперативно набирать мощность, для этих целей предполагается использовать солнечные панели и мощные БНЭ.

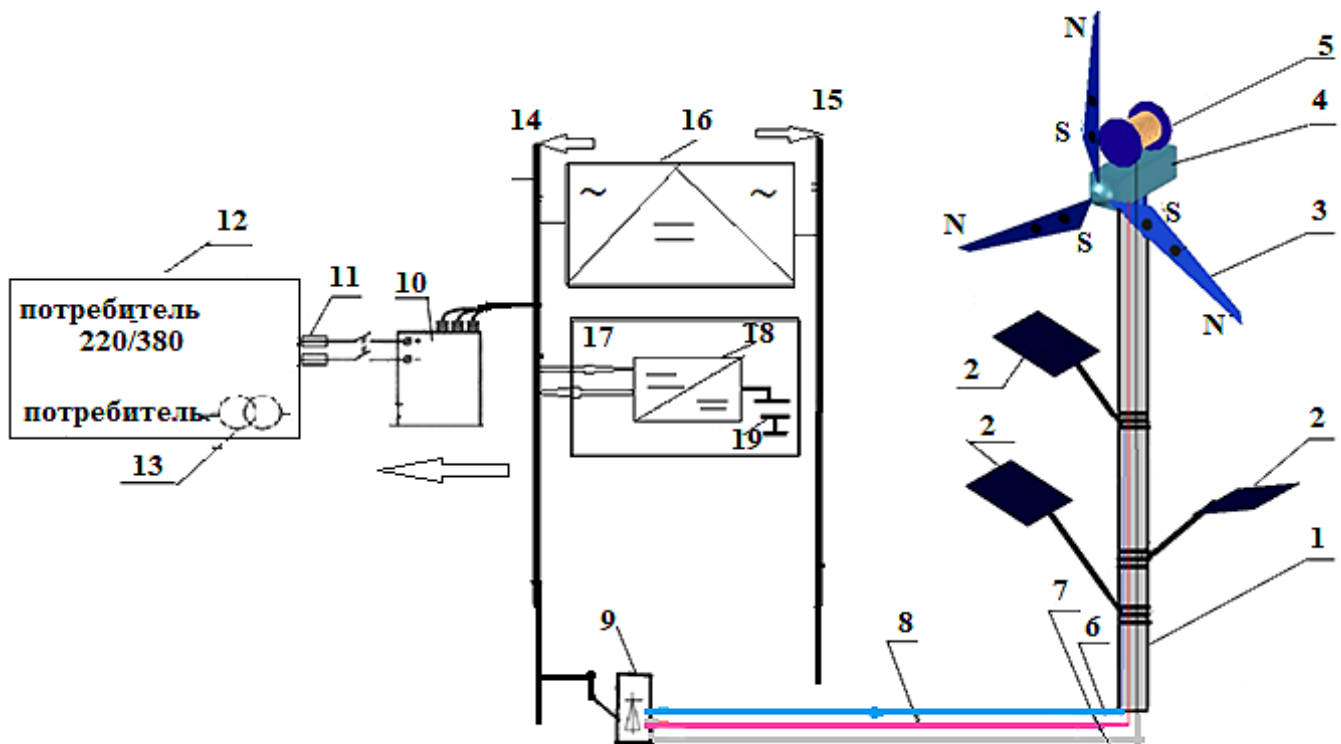


Рисунок 4. ГВЭУ с подключением через высокочастотную шину

Вариант ГВЭУ основанный на слиянии системы с помощью вспомогательной шины,

работающей на высокой частоте, показан на рис. 4.

Данный метод, в основном, можно использовать при создании электропитания для воздушных и космических аппаратов. Это позволяет свести к минимуму количество реактивных элементов в системе, уменьшить вес и размеры и, соответственно, снизить стоимость. Но из-за геометрического разъединения отдельных агрегатов при использовании этой схемы возникает ряд проблем, связанных с потерями мощности во вспомогательной сети, электромагнитной совместимостью и т.д.

Сравнительный анализ схем автономных ГВЭУ показал, что наиболее перспективным способом сопряжения устройств, вырабатывающих электрическую энергию в ГВЭУ, является использование промежуточной вставки постоянного тока. В этом случае СРГЭ на базе ГВЭУ построен по совокупному принципу, легко масштабируется и при необходимости перестраивается. Кроме того, можно объединить структуру и конструкцию электронных силовых преобразователей для модельного ряда мощностей.

Использование вставки постоянного тока позволяет более просто суммировать и распределять потоки электроэнергии из генерирующих источников и внедрять эффективные методы управления для этого процесса.

Предложенная нами СРГЭ на базе ГВЭУ показана на рис. 5. СРГЭ на базе ГВЭУ вырабатывающая постоянную и переменную электрическую энергию состоит из мачты 1, солнечных панелей 2, магнитных лопастей 3, асинхронного двигателя 4, индукционной катушки 5, выпрямителя 9, 15 шины постоянного тока, инвертора 10 с переключателем 11, потребителя тока 220/380 13, потребителя тока 6 или 10 Квт 16, блока накопителя энергии (БНЭ) 14 и аккумуляторов 12, точки подключения следующих гибридных ветроустановок 17.

Эта система работает следующим образом. Под действием ветра магнитные лопасти 3 вырабатывая переменный электрический ток 7 с помощью асинхронного двигателя 4, создают магнитное поле вокруг себя, который пересекая обмотки индукционной катушки, вырабатывает переменный индукционный ток 8. Постоянный ток, выработанный на солнечных панелях 2 через контроллер 9 передается на шину постоянного тока 15. Из шины ток подается инвертору 10, и переменный ток 220/380, или 6–10 Квт подается потребителям 13 или 16. Избыточная электрическая энергия накапливается в блоке БНЭ, имеющая двухстороннюю направленность. К 17 подключаются дополнительные гибридные ВЭУ.

Суммирование мощности выработанной электроэнергии агрегатами ГВЭУ осуществляется на шине постоянного тока, к которой подключается нагрузка потребителя. Солнечные панели в этой схеме вырабатывают постоянный ток, генератор ВЭУ может работать с изменяемой частотой вращения вала, для чего его выход подключен к шине постоянного тока через контроллер.

При подключении к распределительной сети ГВЭУ одной из основных задач, которую необходимо выполнить является распределение нагрузок между генерирующими агрегатами (генератор, индукционная катушка, солнечные панели). Это осуществляется следующим образом:

1. Определяется (на основе климатических условий и астрономических параметров Солнца) потенциально возможное генерирование мощности ГВЭУ.

2. Определяются потери активной мощности при передаче потенциально возмож-

ной сгенерированной электрической энергии ГВЭУ потребителю.

3. Если суммарная мощность генерируемой ГВЭУ электроэнергии не меньше нагрузки потребителя, то все это покрывается за счет возобновляемых источников энергии.

4. Если есть избыток энергии, то он передается БНЭ. В случае, когда БНЭ уже полностью заполнен, на соответствующую величину уменьшается мощность ГВЭУ. Первоначально регулируется ветряная секция, а затем фото-панели.

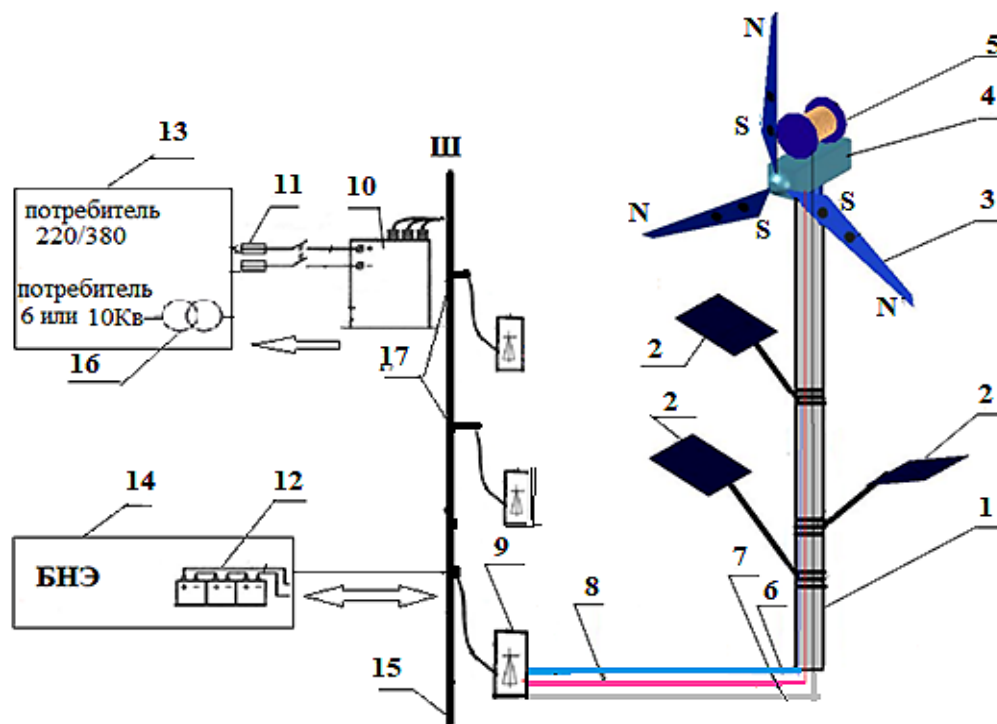


Рисунок 5. Система распределенной генерации электроэнергии на базе ГВЭУ с накопителем энергии и суммированием мощностей на шине постоянного тока

5. Если общая мощность возобновляемых источников энергии меньше нагрузки потребителей, нехватка мощности покрывается за счет БНЭ.

Выводы. Чтобы повысить эффективность использования кинетической энергии ветра предложенная СГРЭ на базе ГВЭУ, как показали наши исследования, имеет практический характер. Самое главное – можно не меняться основа конструкции ВЭУ. С другой стороны, предложенной системой можно получать дополнительную электрическую энергию с помощью солнечных панелей, не занимая дополнительные площади. Тем самым повышается

эффективность использования ГВЭУ. Технология технической реализации такой системы запатентована (Патент РК на изобретение № 33214 от 17.10.2018).

Предложенная технология проектирования СГРЭ обеспечивает поддержание непрерывного во времени равенства генерируемой и потребляемой электроэнергии в ГВЭУ и показала свою практичность. Эта технология запатентована (Патент РК на полезную модель № 6142 от 11.06.2021).

Сравнительный анализ работы ГВЭУ показал, что наиболее перспективным вариантом сопряжения различных типов агрегатов в од-

ной энергосистеме является использование промежуточной вставки постоянного тока. В этом случае ГВЭУ, построенная по агрегатному принципу, легко масштабируется и, при необходимости перестраивается. Кроме того, можно объединить структуру и конструкцию электронных силовых преобразователей. Используя модульный принцип их построения, проще разработать линию преобразователей

для модельного ряда мощностей [12]. Использование вставки постоянного тока позволило более просто суммировать и распределять потоки энергии из генерирующих источников ГВЭУ. Использование ГВЭУ для СРГЭ дает возможность сократить занимаемую системой площадь. При этом надо указать, что сокращение эксплуатационной площади имеет немаловажное значение.

Список литературы:

1. Аналитическое исследование «Казахстан: Энергетическая безопасность, энергетическая независимость и устойчивость развития энергетики. Состояние и перспективы», под ред. Алияров Б., Институт энергетических исследований, – Алматы, 2009. – 370с.
2. Рустамов Н. Т., Мейрбеков А. Т., Мейрбеков Б. К. Ветрогенератор с магнитными лопастями. Патент РК на изобретение № 33214 от 17.10.2018.
3. Абдрасилов Б. С., Мейрбеков А. Т., Рустамов Н. Т., Мейрамкулова К. С., Бабахан Ш. А. Гибридный ветрогенератор. Патент РК на полезный модель № 6142 от 11.06.2021.
4. Рустамов Н. Т., Бабахан Ш. А., Кибишов А. Т., Орысбаев С. А. Гибридизация ветровых энергетических установок. -Киев, Научный журнал «Архивариус» – № 9(54). 2020. – С. 20–24.
5. Рустамов Н. Т., Мейрбеков А. Т., Шапалов Ш. К. Ветрогенератор с магнитной левитацией. Патент РК на изобретение № 33375 от 08.01.2019.
6. Арифжанов А. Ш., Захидов Р. А. Схемотехнические решения подключения автономных источников энергетики на базе возобновляемых источников энергии в общую распределительную сеть. – Ташкент, жур. Проблемы информатики и Энергетики. – № 6. 2017. – С. 47–58.
7. Чиндяскин В. И., Гринько Д. В. Выбор оптимального решения для применения комбинированных установок на основе возобновляемых источников энергии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – № 1(45). 2014. – С. 40–43.
8. Герасименко А. А., Федин В. Т. Электроэнергетические системы и сети: расчеты, анализ, оптимизация режимов работы и проектных решений электрических сетей: – Ростов н/Д: Феникс, 2018. – 471 с.
9. Рустамов Н. Т., Бабахан Ш. А., Орысбаев С. А. Одностадийное Электроснабжение На Базе ВЭУ.–Екатеринбург. Международный научно-исследовательский журнал, – Ч. 1.– № 12(102). 2020. – С. 71–75.
10. Рустамов Н. Т. О создании гибридных энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ) // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – № 4 (54). 2014. – С. 114–116. – Библиогр. в конце ст. – ISSN1606–146X

11. Parmanbekov U., Meirbekov B., Sugurov S., Kruglikov A., Rustamov N., Yernazarova D. “Automated System of Control and Protection Asynchronous Motors In Kazakhstan”: – Paris, France. Pensee Journal. – Vol. 76. – No. 11. – Nov. 2014. – P. 320–324.
12. Обухов С. Г., Плотников И. А. Сравнительный анализ схем построения автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики // Журнал «Промышленная энергетика». – № 7. 2012. – С. 46–51.
13. Arifjanov A. Sh., Zakhidov R.A. Grid Connection Management of Distributed Generators on the Basis of Renewable Energy Sources // Geliotekhnika, – № 4. 2017. – P. 71–79.