



ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ВЕТРОТУРБИН-ГЕНЕРАТОРОВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Шерьязов С.К.¹, Исенов С.С.², Исаков Р.М.², Кайдар А.Б.²

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Российская
Федерация

²Казахский агротехнический университет им. Сакена Сейфуллина, г. Нур-Султан,
Республика Казахстан

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Провести подробный анализ существующих ветряных турбин. Проанализировать роль, место и особенности функционирования ветряных электростанций. Привести различные варианты генераторов и схемы преобразования энергии ветра в электрическую. Дать рекомендации по повышению надежности ветряных турбин в интеллектуальных сетях. *МЕТОДЫ.* Статья подготовлена с использованием аналитических методов, статистических, теоретических, факторных и технических методов. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Асинхронный генератор с фиксированной скоростью, используемый в системе преобразования энергии ветра (СПЭВ) без интерфейса преобразователя мощности, потребляет значительную часть реактивной мощности из сети. Особенности данной конфигурации является простая, надежная работа. Ветряная турбина асинхронного генератора с двойным питанием. может улучшить общую эффективность преобразования энергии за счет выполнения отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), а увеличение скорости примерно на 30% может улучшить динамические характеристики и повысить устойчивость к системным возмущениям, которые недоступны для 1-го и 2-го типов турбин. Использование полномасштабных 100% преобразователей мощности значительно повысит производительность систем преобразования энергии ветра СПЭВ, но немного увеличит стоимость преобразователя мощности, до 7% -12% от общей стоимости оборудования. Используя большое количество пар полюсов для всех типов синхронного генератора с постоянными магнитами (СГПМ), редуктор турбины можно удалить. Этот тип систем преобразования энергии ветра более устойчив к нарушениям энергосистемы по сравнению с ветровыми системами типов 1, 2 и 3. Обзор показывает, что для наиболее эффективной продажи и утилизации ветряных турбин на рынках электроэнергии используются технологии 3-го и 4-го типов. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* В статье анализируются особенности функционирования ветроэнергетических установок работающих на сеть. Приведены различные варианты генераторов и схем преобразования энергии ветра в электрическую. Приведен подробный анализ существующих ветряных агрегатов. Даны рекомендации по повышению надежности, экономичности ветроэнергетических установок в интеллектуальных сетях.

Ключевые слова: генерация; альтернативные источники энергии; ветроэнергетика; электроснабжение сельских автономных потребителей от возобновляемых источников энергии; индукционный генератор с фиксированной скоростью; преобразователь мощности, ветроэнергетический индукционный генератор с двойным питанием.

Для цитирования Шерьязов С.К., Исенов С.С., Исаков Р.М., Кайдар А.Б. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 24-33. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-24-33.

THE MAIN TYPES OF WIND TURBINES-GENERATORS IN THE POWER SUPPLY SYSTEM

SK. Sheryazov¹, SS. Issenov², RM. Iskakov², AB. Kaidar²

¹South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation

²Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

Abstract: *PURPOSE. Conduct a detailed analysis of existing wind turbines. Analyze the role, place and features of the functioning of wind power plants. Provide various options for generators and schemes for converting wind energy into electricity. Provide recommendations for improving the reliability of wind turbines in smart grids. METHODS. The article was prepared using analytical methods, statistical, theoretical, factorial and technical methods. RESULTS. A fixed speed asynchronous generator used in a wind power conversion system (WECS) without a power converter interface draws a significant portion of the reactive power from the grid. This configuration features simple, reliable operation. Wind turbine asynchronous generator with dual power supply. can improve overall power conversion efficiency by performing maximum power point tracking (MPPT), and an increase in speed of about 30% can improve dynamic performance and increase resilience to system disturbances that are not available for turbine types 1 and 2. The use of full-scale 100% power converters will significantly increase the productivity of SPEV wind energy conversion systems, but will slightly increase the cost of the power converter, up to 7% - 12% of the total equipment cost. By using a large number of pole pairs for all types of permanent magnet synchronous generator (PMG), the turbine gearbox can be removed. This type of wind energy conversion system is more resilient to grid disruptions compared to type 1, 2 and 3 wind systems. The review shows that types 3 and 4 technologies are used to most efficiently sell and recycle wind turbines in electricity markets. CONCLUSION. The article analyzes the features of the functioning of wind power plants operating on the grid. Various options for generators and schemes for converting wind energy into electricity are presented. A detailed analysis of existing wind turbines is provided. Recommendations are given for improving the reliability and efficiency of wind power plants in smart grids.*

Keywords: *generation; alternative energy sources; wind power; electricity supply to rural autonomous consumers from renewable energy sources; fixed-speed induction generator; power converter; wind power induction generator with dual power supply.*

For citation: Sheryazov SK, Issenov SS, Iskakov RM, Kaidar AB. The main types of wind turbines-generators in the power supply system. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021;23(5):24-33. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-24-33.

Введение

Энергетика в мире развивается по двум направлениям и представлена большой и малой (распределенной) энергетикой. При этом распределенная энергетика по значимости не уступает большой. В число распределенной энергетике относятся установки мощностью до 30 МВт на базе традиционных дизельных, газопоршневых или газотурбинных установок и возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [1, 2, 3]. В условиях роста цен на энергоносители традиционные источники становятся затратными, тогда как ВИЭ позволяют снизить затраты на потребляемую энергию за счет экономии органического топлива [4, 5].

Одним из аргументов в пользу ВИЭ является то, что в условиях огромной территории и низкой плотности населения имеют место значительные потери электрической энергии при ее транспортировке к удаленным потребителям. В этой связи всемерное развитие ВИЭ может являться экономической и экологической альтернативой крупным электростанциям на органическом топливе.

Из всех направлений возобновляемой энергетики, ветроэнергетические установки (ВЭУ) в настоящее время являются менее капиталоемкими и более конкурентоспособными.

Использование ВЭУ в системе распределенной генерации в целом является актуальной задачей. Для эффективного их использования необходимо определить условия функционирования.

Для развития ветроэнергетики, ее коммерциализации необходимо учитывать не только климатические факторы, но и конструктивные особенности систем генерации. Для строительства ветроэлектрических станции важно определить ее состав и условия эффективного использования ВЭУ в зависимости от ветроэнергетических ресурсов местности и требуемых затрат на установки.

Казахстан исключительно богат ветровыми ресурсами. В ряде районов скорость ветра составляет 6 м/с и более, что определяет очень хорошие перспективы использования энергии ветра. По некоторым данным, теоретический ветровой потенциал Казахстана составляет около 1820 миллиардов кВтч в год [6]. Учитывая удельную мощность ветроэлектростанции на уровне 10 МВт/км² и наличие значительных свободных площадей, можно предположить возможность установки нескольких тысяч МВт мощности ветропарка в Казахстане [7].

Электроснабжение сельскохозяйственных объектов осложняется тем, что сельскохозяйственные объекты находятся на удалении от источников централизованного электроснабжения. Кроме того, современное отечественное сельское хозяйство с его многочисленными автономными потребителями электроэнергии имеет очень большие перспективы использования возобновляемых источников энергии, что, в свою очередь, создает реальные предпосылки для более быстрого развития возобновляемых источников энергии. Автономное электроснабжение ферм может быть реализовано различными способами. Чаще всего для этого используются дизельные электростанции (ДЭС) номинальной мощностью 8-50 кВт, а также мобильные электростанции используются для электроснабжения удаленных и сезонных объектов. Проще использовать либо дизельный генератор, либо ветряную электростанцию.

Учитывая устойчивую тенденцию к повышению цен на топливо, а на ветроэнергетику - к снижению тарифов и политике субсидирования в большинстве стран, включая Казахстан, возникает вопрос об изучении электроснабжения сельских автономных потребителей от возобновляемых источников энергии, а именно: энергии ветра. актуальна и представляет научный и практический интерес.

В последнее десятилетие в энергосистемах преобладали различные типы ветряных генераторов [6-9]. В настоящее время используются различные ветряные турбины-генераторы, которых можно классифицировать в зависимости от сочетания их частей и преобразованной выходной мощности.

Материалы и методы

Тип 1 - Ветряные турбины с фиксированной скоростью.

На рисунке 1 показан асинхронный генератор с фиксированной скоростью, используемый в СПЭВ без интерфейса преобразователя мощности. В этой конфигурации для подключения генератора к сети используются пусковое устройство и повышающий трансформатор [10, 11].

Это основная, в числе первой технология, которая использовалась для разработки системы ветряных турбин. В системах СПЭВ с высокой преобразованной мощностью простого типа асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором (АГ с КЗ) имеют 4 или 6 полюсов для работы с номинальными частотами 50 Гц. Высокое число полюсов обуславливает возможность применения их при низких скоростях ветра и нередко без редукторов.

Изменение скорости вращения генератора ограничено и составляет примерно 1% от номинальной скорости при различных значениях скорости ветра. Поэтому этот тип СПЭВ называется системой с фиксированной скоростью [2]. Практически, редуктор можно использовать для согласования погрешности скорости между турбиной и генератором. Пусковое устройство может быть отключено после запуска переключателем, при этом система в основном работает без преобразователя.

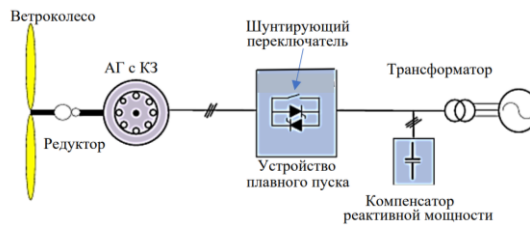


Рис. 1. Подключенный к сети асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором с фиксированной скоростью вращения в системе преобразования энергии ветра СПЭВ (тип 1)

Fig. 1. An asynchronous generator connected to the network with a short-circuited rotor with a fixed rotation speed in a wind energy conversion system SPEV (type 1)

Конфигурация генератора по типу 1 потребляет реактивную мощность из сети. Для выхода из этой ситуации обычно применяются батареи конденсаторов, работающие как компенсаторы. Такая конфигурация отличается простотой, надежностью работы и низкими начальными затратами, в то время как основные недостатки это: более низкая эффективность преобразования энергии; изменения скорости ветра будут перенесены в сторону сети; огромное напряжение в механических частях ветряной турбины в случае неисправности на стороне энергосистемы могут быть устранены. Эта конфигурация СПЭВ работает с вспомогательными устройствами, такими как статический компенсатор (STATCOM), чтобы улучшить рабочие характеристики и, наконец, согласовать требования сетевых параметров [5, 10, 11].

Второй тип СПЭВ это характеризуется использованием ветряных турбин с регулируемой скоростью и переменным сопротивлением в цепи ротора. Применение переменной скорости в конфигурации ветряного генератора приводит к повышению эффективности процесса преобразования и уменьшению механического напряжения, которое может быть вызвано порывами ветра, и, наконец, уменьшит трение подшипников и требования к техническому обслуживанию, что, в конечном итоге, увеличит срок службы системы вообще. В ветроэнергетической системе с полурегулируемой скоростью используется тип АД с фазным ротором, и частичное преобразование 10 % номинальной мощности показано на рисунке 2.

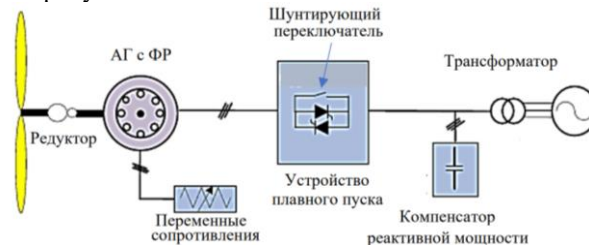


Рис. 2. Асинхронный генератор с фазным ротором в СПЭВ, подключенный к сети с полурегулируемой скоростью, тип 2.

Fig. 2. Asynchronous generator with phase rotor in SPEV, connected to the network with floor adjustable speed, type 2.

Конфигурация этого типа использует принцип изменения сопротивления ротора, которое влияет на характеристику крутящего момента и скорость генератора, а также на обеспечение работы ветряной турбины с регулируемой скоростью. Сопротивление ротора можно регулировать с помощью преобразователя мощности, который состоит из схемы тиристорного выпрямителя и прерывателя (рис. 2). Эта конфигурация обычно называется *Opti-slipcontrol* [9]. Диапазон регулировки скорости ограничен в пределах $\pm 10\%$ от номинальной скорости. Работа с переменной скоростью позволит эффективно улавливать энергию ветра, несмотря на наличие потерь мощности в сопротивлении генератора.

В этом типе необходимо использовать устройство плавного пуска, редуктор и устройства компенсации реактивной мощности.

Третий тип, ветряная турбина индукционного генератора с двойным питанием.

Данная конфигурация СПЭВ с ограниченной переменной скоростью с применением машины двойного питания, используемой в качестве генератора показана на рисунке 3. Принцип и работа этого типа подразумевает, что генерируемая мощность подается в сеть двумя обмотками, статором и ротором. Часть номинальной мощности преобразователя может быть использована в цепи ротора для восстановления мощности скольжения, которая составляет около 30% от номинального значения генератора [10, 11].

В ветряных турбинах, подобного 1 и 2 типам, используется редуктор для получения необходимой скорости вращения ротора. При этом нет необходимости устройств компенсации реактивной мощности и плавного пуска [5].

Преобразователи мощности используются для обеспечения двунаправленного проникновения энергии в роторную часть и увеличения диапазона скоростей генератора. Общая эффективность преобразования энергии может быть улучшена с помощью этих функций для выполнения отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), а увеличение скорости примерно на 30% может улучшить динамические характеристики и повысить устойчивость к системным возмущениям, которые отсутствуют у турбин типов 1 и 2 [10, 11].

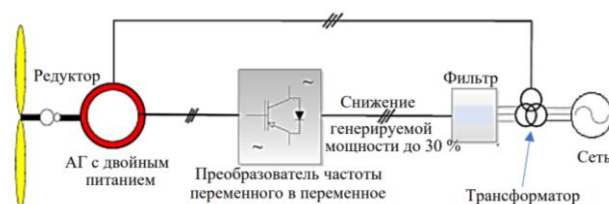


Рис. 3. Генерация электроэнергии на сеть с использованием асинхронной машины двойного питания (полупеременная скорость), тип 3

Fig. 3. Generation of electricity to the grid using a dual-power asynchronous machine (semi-variable speed), type 3

Эти особенности позволили асинхронным машинам этого типа стать одной из доминирующих технологий на современном рынке электроэнергии с долей примерно 50% [6]. Наличие редуктора увеличит вес системы и общую стоимость турбины, а также потребует постоянного обслуживания.

Преобразователь частоты обычно со звеном постоянного тока подключается через щетки и контактные кольца к ротору (рис. 3). Регулярное техническое обслуживание является основополагающим для этих типов турбин из-за старения щеток, которые необходимо периодически заменять примерно через 6-12 месяцев. Эти недостатки ограничивали использование этих типов турбин на морских ветряных электростанциях из-за очень высокой стоимости обслуживания.

Четвертый тип СПЭВ - ветряная турбина с регулируемой скоростью и полномасштабным преобразователем.

Использование полномасштабных преобразователей мощности значительно повысит производительность СПЭВ, как показано на рисунке 4.

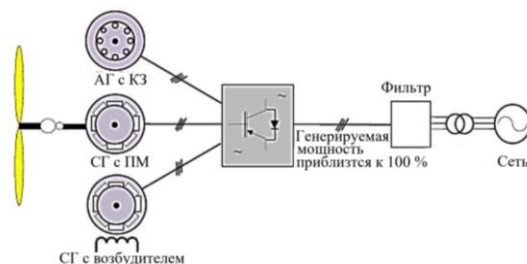


Рис. 4. СПЭВ с регулируемой скоростью, подключенный к сети, тип 4

Fig. 4. SPEV with adjustable speed, connected to the network, type 4

В этой топологии могут применяться типы асинхронные генераторы с фиксированной скоростью (рис. 1), асинхронные генераторы с фазным ротором (рис. 2) и синхронные генераторы с постоянными магнитами с широким диапазоном номинальной мощности, достигающей до 8 мегаватт. Поскольку мощность преобразователя должна соответствовать мощности генератора, то стоимость, сложность конфигурации системы, а также и габариты СПЭВ будут увеличены. По этой причине потери силовых преобразователей выше, что приводит к снижению КПД этого типа [10, 11].

Благодаря тому, что генератор и преобразователи полностью отделены от сети, вырабатывается номинальная мощность во время работы в широком диапазоне частот вращения ротора от 0 до 100%. Преобразователи мощности также необходимы для компенсации реактивной мощности и получения плавной активной мощности [9]. КПД WECS у этих турбин выше, чем у других типов [10, 11].

Наилучшее соответствие *FRT* также можно улучшить и получить без внешнего оборудования. Хотя стоимость преобразователя мощности немного высока, это будет небольшая доля; в пределах 7-12%; от общей стоимости оборудования. Используя большое количество пар полюсов для всех типов *PMSG*, редуктор турбины можно исключить [8, 9]. Данный тип WECS более устойчив к нарушениям энергосистемы по сравнению с ветровыми системами типов 1, 2 и 3.

Принцип распределенной трансмиссии применен в развитой крупномасштабной ветроэнергетической системе Типа 4. Хотя *WRSG* и *SCIG* могут применяться в этом принципе, *PMSG* показал хорошие эксплуатационные характеристики, поскольку он удаляет контактные кольца и щетки, что обеспечивает простую конструкцию [7]. Коробка передач способна приводить в движение несколько генераторов на более высоких скоростях, поэтому высокая удельная мощность может быть получена за счет распределенной трансмиссии и нескольких генераторов.

Некоторые конфигурации также демонстрируют эффективную отказоустойчивость в различных условиях эксплуатации.

Остальные три преобразователя все еще могут подавать питание в сеть в случае выхода из строя одного преобразователя [7]. Применение многообмоточного трансформатора на стороне сети позволяет минимизировать циркулирующие токи и уменьшить гармоники. Сложная трансмиссия рассматривается как главный недостаток этой конфигурации, по этой причине конструкторы используют многополюсный генератор, чтобы поддерживать угловую частоту в пределах номинального значения и исключить трансмиссию.

Сравнение типов СПЭВ

Турбины типа 3 (двойного питания) использовались семью производителями, входящими в первую десятку компаний, поскольку они занимают самую высокую долю рынка [12, 13, 14]. Около 100 различных типов турбин двойного питания используются и производятся всеми производителями ветряных турбин [15].

Немногие из этих компаний производят турбины типа 4, однако очень немногие из них имеют дело с решениями с прямым приводом. Обзор показывает, что наиболее продаваемые и используемые ветряные турбины на рынках электроэнергии используют технологии типов 3 и 4. Ожидается, что в ближайшие несколько лет конфигурация Типа 4 будет доминировать на рынке электроэнергии и будет иметь главный приоритет в будущих проектах, которые будут осуществляться производственными компаниями. Краткое описание всех типов турбин и компаний-производителей подробно объяснено в [15, 16, 17].

Проведенное сравнение зависит от электрических проблем, таких как генератор; преобразователи мощности; мощность преобразователя мощности; и внешняя компенсация реактивной мощности; соблюдение требования об отсутствии неисправности; требование к устройству плавного пуска, а также механические проблемы и проблемы управления, такие как коробка передач и способность МРРТ; управление аэродинамической мощностью, достижимое разнообразие скоростей; технологическая ситуация; и проникновение на рынок.

Как правило, турбины типов 3 и 4 наиболее подходят для подключения к крупномасштабным электросетям и их использования.

Заключение

Проектирование и успешное функционирование систем преобразования энергии ветра (СПЭВ) является очень сложной задачей.

Индукционный генератор с фиксированной скоростью, используемый в СПЭВ без интерфейса преобразователя мощности, потребляет значительную часть реактивной мощности из сети. Особенности данной конфигурации является простая, надежная работа.

Применение переменной скорости в конфигурации ветряного генератора приведет к повышению эффективности процесса преобразования и уменьшению механического напряжения, которое может быть вызвано порывами ветра, и, наконец, уменьшит трение подшипников и требования к техническому обслуживанию, что, в конечном итоге, увеличит срок службы системы. вообще.

Общая эффективность ветряной турбины асинхронного генератора с двойным питанием может быть улучшена с помощью функций отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), а увеличение скорости примерно на 30% может улучшить динамические характеристики и повысить устойчивость к системным возмущениям, которые недоступны для 1 и 2 типов турбин. Наличие редуктора увеличит вес системы и общую стоимость турбины, а также потребует постоянного обслуживания.

Использование полномасштабных (тип 4: ветряная турбина с регулируемой скоростью и полномасштабным преобразователем) 100% преобразователей мощности значительно повысит производительность СПЭВ. Хотя стоимость преобразователя мощности немного высока, она будет незначительной; в пределах 7% -12% от общей стоимости оборудования. Используя большое количество пар полюсов для всех типов PMSG, редуктор турбины можно удалить.

Этот тип СПЭВ более устойчив к нарушениям энергосистемы по сравнению с ветровыми системами типов 1, 2 и 3.

Обзор показывает, что для наиболее эффективной продажи и утилизации ветряных турбин на рынках электроэнергии используются технологии 3-го и 4-го типов.

Ожидается, что в ближайшие несколько лет СПЭВ с конфигурацией 4 типа будут доминировать на рынке электроэнергии и будут иметь главный приоритет в будущих проектах, которые будут осуществляться производственными компаниями.

Литература

1. Sheryazov S.K., Shelubaev M.V. Obukhov S.G. *Renewable Sources in System Distributed Generation*. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017.
2. Sheryazov S.K., Ptashkina-Girina O.S. *Increasing power supply efficiency by using renewable sources*. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. ICIEAM. 2016.
3. Sheryazov S.K., Ptashkina-Girina O.S., Nizamutdinova N.S. *Technological and Economic Evaluation of the System of Heat Supply with the Usage of Renewable Sources of Energy*. 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Publisher: IEEE - 2019.
4. Шерьязов С.К., Шелубаев М.В. *Ветроэлектрические установки в системе электроснабжения сельскохозяйственных потребителей*: Монография. Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2018. 184 с.
5. Sheryazov S.K. *Methodology of Renewable Sources Efficient Use*. In the Proceedings of the VI international research and practice conference «European Science and Technology», Germany. 2013. pp: 343-347.
6. Сейтказин С. Б., Кайдар А.Б., Кайдар и др. *Жел-күн электрлік станциялар*: Монография. Павлодар: Кереку, 2019, 175 бет. ISBN 978-601-238-894-4.
7. Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кислов А.П., и др. *Топология силовой части многоуровневых преобразователей электрической энергии для автономных электроэнергетических систем, «XIX Сәтбаев оқулары» жас ғалымдар, магистранттар, студенттермен мектеп оқушыларының : халықар. ғыл. конф. мат-дары АкадемикҚ. И.*

Сәтбаевтың 120 жылдығына арналған. Павлодар : С. Торайғыроватындағы ПМУ, 2019. Т. 12 «Студенттер». 2019. 296 б. с.

8. Кислов А.П., Шапкенов Б.К., Марковский В.П., и др. Анализ требований, предъявляемых к системам автономного электропитания с учетом обеспечения электромагнитной совместимости, с «XIX Сәтбаевоқулары» жасғалымдар, магистранттар, студенттер мен мектепоқушыларының : халықар. ғыл. конф. мат-дары Академик Қ. И. Сәтбаевтың 120 жылдығына арналған. Павлодар : С. Торайғыроватындағы ПМУ, 2019. Т. 21 «Жасғалымдар». 2019. 420 б.

9. Кислов А.П., Кайдар А.Б., Марковский В.П. Необходимость применения аккумуляторных накопителей в электроснабжении на основе возобновляемых источников // ПМУ хабаршысы Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. 2014. № 2. С. 112-117.

10. Кайдар А.Б., Шапкенов Б.К., Кислов А.П., др. Энергоэффективные ветрогенераторы с улучшенными энергетическими показателями. Сборник Международной научно-практической конференции «Торайғыровские чтения. Качество жизни в Павлодарской области. Состояние и перспективы», посвященной 55-летию Павлодарского государственного университета имени С. Торайғырова. Павлодар: 2015 г. Т.5. С. 293-298.

11. Кайдар А.Б., Копырин В.С., Шапкенов Б.К., и др. Экспериментальные исследования инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения в возобновляемых источниках энергии // ПМУ хабаршысы Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. 2014. № 3. С. 137-143.

12. Кайдар А.Б., Шапкенов Б.К., Марковский В.П. Оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии // ПМУ хабаршысы Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. 2014. № 3. С. 129-137.

13. Сарсикеев Ю.Ж., Кайдар А.Б., Лукутин Б.В., и др. Turbulent wind component using Kaimal's function. Турбулентная составляющая ветра с функцией Kaimal // ПМУ хабаршысы Вестник ПГУ. Сер. Энергетическая. 2014. № 4. pp. 120-125.

14. Aliferov A.I., Kislov A., Markovskiy V., et al. Pulse-width modulation of base vectors in transistor inverter // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016): proc., Novosibirsk, 1–3 June 2016. Novosibirsk: NSTU, 2016. Pt. 2. pp. 130–132.

15. Николаев Ю.Е., Осипов В.Н., Игнатов В.Ю. Методика расчета энергетических показателей автономного энергокомплекса, включающего ГТУ, ВЭУ и аккумуляторы электрической энергии. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(3):36-43. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-3-36-43>.

16. Сарыев К.А. Определение ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(6):143-154. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-143-154>.

17. Лаврик А.Ю., Жуковский Ю.Л., Лаврик А.Ю., Булдыско А.Д. Особенности выбора оптимального состава ветро-солнечной электростанции с дизельными генераторами. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(1):10-17. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-1-10-17>.

Авторы публикации

Шеръязов Сакен Койшыбаевич – д-р. техн. наук, профессор, «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Институт агроинженерии. Email: sakenu@yandex.ru.

Исенов Султанбек Сансызбаевич – канд. техн. наук, ассоциированный профессор, декан энергетического факультета Казахского агротехнического университета им. Сакена Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан. Email: isenov_sultan@mail.ru.

Искаков Руслан Маратбекович – канд. техн. наук, ассоциированный профессор Казахский агротехнический университет им. Сакена Сейфуллина, г. Нур-Султан, Email: rus.iskakov79@mail.ru

Кайдар Аргын Бауыржанулы - докторант 1 курса, магистр техники и технологий, «Казахский агротехнический университет им. Сакена Сейфуллина», г. Нур-Султан. Email: argin_intel@mail.ru

References

1. Sheryazov SK, Shelubaev MV, Obukhov SG. Renewable Sources in System Distributed Generation. International Conference on Industrial Engineering, *Applications and Manufacturing*. ICIEAM 2017. doi: 10.1109/ICIEAM.2017.8076247.
2. Sheryazov SK, Ptashkina-Girina OS. Increasing power supply efficiency by using renewable sources. 2nd International Conference on Industrial Engineering. *Applications and Manufacturing*. ICIEAM. 2016. doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7910986.
3. Sheryazov SK, Ptashkina-Girina OS, Nizamutdinova NS. *Technological and Economic Evaluation of the System of Heat Supply with the Usage of Renewable Sources of Energy*. 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Publisher: IEEE - 2019. doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602526.
4. Sheryazov SK, Shelubaev MV. *Vetroelektricheskie ustanovki b sisteme elektrosnabgenya selskohozyastvennih potrebitelei*: Monografiya. 2018. Wind power plants in the power supply system of agricultural consumers. Chelyabinsk: South Ural State Agrarian University, p. 184.
5. Sheryazov SK 2013. *Methodology of Renewable Sources Efficient Use*. In the Proceedings of the VI international research and practice conference «European Science and Technology», Germany: pp: 343-347.
6. Seitkazin SB, Kaidar AB, Kaidar M.B. *Zhel-kun elektrlik stantsiyalar*: Monograph. Pavlodar: Kereku. 2019. 175 bet.
7. Shapkenov BK, Markovsky VP, Kislov AP, et al. *Topology virtutis pars multi-gradu electrica potentia converters sui iuris electrica potentia systemata*. «XIX Satbayev okulary» Zhas galymdar, magister discipulo, discipulus hominum Mektep okushylarynyn : halykar. al. Conf. Mat-dona Academician I. I. Streety 120 Gildiya aralen. Pavlodar: S. Toraigyrov atyndagy PMU, 2019. V. 12. «Studentter». 2019. 296.
8. Kislov AP, Shapkenov BK, Markovsky VP, et al. *Analysis requisita sui iuris potentia copia ratio, quantum ad impendendum electro copulatus*, cum «XIX Satbayev okulary» Zhas galymdar, magister discipulo, discipulus hominum Mektep okushylarynyn : halykar. al. Conf. Mat-dona Academician I I. Streety 120 Gildiya aralen. Pavlodar: S. Toraigyrov atyndagy PMU, 2019. V. 21 «Zhas galymdar». 2019. 420 b.
9. Kislov AP, Kaidar AB, Markovsky. *Opus ad usum altitium repono cogitationes in potentia copia ex renewable sources*. PMU khabarshysy Acta de PSU. Sère. Potentia. 2014;2:112-117.
10. Kaidara B, Shapkenov BK, Kislov AP, et al. *Industria-Efficiens ventus generantibus, cum melior industria perficientur. Collectio Internationalis scientific et practica colloquium*. YII Toraigyrov lectiones. Qualis vita in Pavlodar tellus. Status et spes, dedicavit ad 55th anniversario S. Toraigyrov Pavlodar state University. Pavlodar: 2015;5:293-298.
11. Kaidar A.B, Kopyrin VS., Shapkenov, et al. *Nibh studiis an inverter cum pulsus-vestibulum, arcu enim potentia copia ratio, cum renewable industria fontes*. PMU khabarshysy Acta de PSU. Sère. Potentia. 2014;3:137-143.
12. Kaidar AB, Shapkenov BK, Markovsky V.P. *Aestimatio mediocris et efficax bona current, virtute stabilis damna switching ad gradus, an inverter cum pulsus-vestibulum, arcu enim potentia copia ratio, cum renewable industria fontes*. PMU khabarshysy Acta de PSU. Sère. Potentia. 2014;3:129-137.
13. Kaidar YZh, Lukutin AB, Obukhov BV, et al. *Nubila ventus component usura Kaimal s functio Nubila ventus component, cum Kaimal*. PMU khabarshysy Acta de PSU. Sère. Potentia. 2014;4:120-125.beisembaev B. U. Analysis requisita sui iuris vim ratio habita ratione electro compatibility
14. Aliferov AI, Kislov A, Markovskiy V, et al. Pulse-width modulation of base vectors in transistor inverter. 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016): proc.,

Novosibirsk, 1–3 June 2016. Novosibirsk: NSTU, 2016;2:130–132. doi: 10.1109/IFOST.2016.7884209.

15. Nikolaev YE, Osipov VN, Ignatov VY. Calculation methodology of the energy indicators of an self-contained energy complex including gas turbine plants, wind-driven power plant and electric storage cell. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020;22(3):36-43. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-3-36-43>.

16. Saryyev KA. Determining wind energy resources in Turkmenistan. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020; 22(6):143-154. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-143-154>.

17. Lavrik AY, Zhukovsky YL, Lavrik AY, et al. Features of the optimal composition of a wind-solar power plant with diesel generators. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020;22(1):10-17. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-1-10-17>.

Authors of the publication

Saken Koyshybaevich Sheryazov – South Ural State Agrarian University, Institute of Agroengineering, Russian Federation. Email: sakenu@yandex.ru.

Sultanbek Sansyzbaevich Issenov – Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Dean of Energy faculty, Republic of Kazakhstan. Email: isenov_sultan@mail.ru.

Ruslan Maratbekovich Iskakov – Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Technical Faculty, Republic of Kazakhstan. Email: rus.iskakov79@mail.ru.

Argyn Bauyrzhanuly Kaidar – Master of Engineering and Technology, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Republic of Kazakhstan. Email: argin_intel@mail.ru.

Получено	08.10.2021г.
Отредактировано	15.10.2021г.
Принято	18.10.2021гю