

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

И.А. Васильев¹, Г.И. Кольниченко², Я.В. Тарлаков², А.В. Сиротов²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

g_kolnic@mail.ru

В статье отмечается, что Россия располагает большими запасами традиционных энергоресурсов и занимает одно из ведущих мест среди стран — экспортеров углеводородного сырья. Но ее огромные территории и множество районов, расположенных вдали от централизованного электро- и теплоснабжения, заставляют рассматривать возобновляемые источники энергии (ВИЭ), как автономные источники энергии, которые составляют основу нового интенсивно развивающегося направления электроэнергетики — распределенной генерации. Значительный рост количества электрогенерирующего оборудования на основе ВИЭ и потребителей получаемой энергии приводит к необходимости объединения генерирующих источников, потребителей и управляющих звеньев в автономные энергетические системы. В связи с неравномерностью выработки и потребления энергии из-за влияния внешних условий и факторов (ветра, солнечного излучения и др.) энергия ВИЭ в таких системах резервируется средствами традиционной энергетики (бензиновые, дизельные генераторы и пр.) в так называемом гибридном режиме, когда генератор переменного тока работает совместно с источниками ВИЭ. В этом случае возникает задача создания следящего инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный по характеристикам, создаваемым параллельно работающим генератором переменного тока. Разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана инвертор успешно решает эту задачу и тем самым делает вполне реальным подключение генераторов с целью суммирования их мощностей в одной электрической системе.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, электроснабжение, автономные системы, инверторы

Ссылка для цитирования: Васильев И.А., Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Сиротов А.В. Возобновляемые источники энергии в автономных системах электроснабжения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 91–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-91-97

За последнее время в мире наблюдается все более широкое применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Их доля в мировом производстве электроэнергии выросла с 2 % в 2003 г. до 10 % в 2019 г. Планы по России заметно скромнее: показатель по выработке электроэнергии на основе ВИЭ составил к 2020 г. менее 1 %, что на порядок ниже среднемировых показателей. Во многих странах, не имеющих в отличие от России существенных запасов углеводородных энергетических ресурсов, планы развития альтернативной энергетики весьма впечатляющие. Так, Германия собирается к 2050 г. генерировать 80 % электроэнергии за счет ВИЭ [1].

Россия сегодня — мощная энергетическая держава, является крупнейшим экспортером энергоресурсов в мире. Но те страны, которые сегодня не занимаются развитием возобновляемой энергетики, через 10–15 лет уже не смогут удерживать свои позиции на энергетическом рынке. Главным доводом развивать альтернативную возобновляемую энергетику в России являются огромные размеры ее территории и труднодоступность многих регионов для централизованного электроснабжения. К настоящему времени более половины территории страны не охвачено централизованным электроснабжением [2]. Однако именно на эти районы приходится значительная часть добычи

сырьевых ресурсов, которые составляют основу экономики России (рис. 1) [3].

Именно поэтому ВИЭ следует рассматривать в первую очередь как автономные источники энергии, которые составляют основу нового интенсивно развиваемого направления — распределенной генерации. Важно отметить, что нет принципиальных препятствий для работы ВИЭ в составе централизованных энергосистем.

Исходя из этих соображений в России учреждена Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ). В нее вошли пока пять участников, как отечественных, так и зарубежных. Благодаря государственной поддержке ВИЭ в России буквально за несколько лет создан новый технологический кластер, инвестиционный потенциал которого оцениваются в 1 трлн руб. Создание ассоциации — это естественно сформировавшееся и своевременное решение, ведь речь идет о возникшем в стране крупном энергетическом и научно-образовательном комплексе. Поддержка обществом и правительством сектора ВИЭ обусловлена тем, что при этом формируется новая отрасль высокотехнологичного электромашиностроения, растет спрос на образовательные программы и научные разработки.

Сектор ВИЭ в России создавался практически с нуля, но уже к 2024 г. будут построены

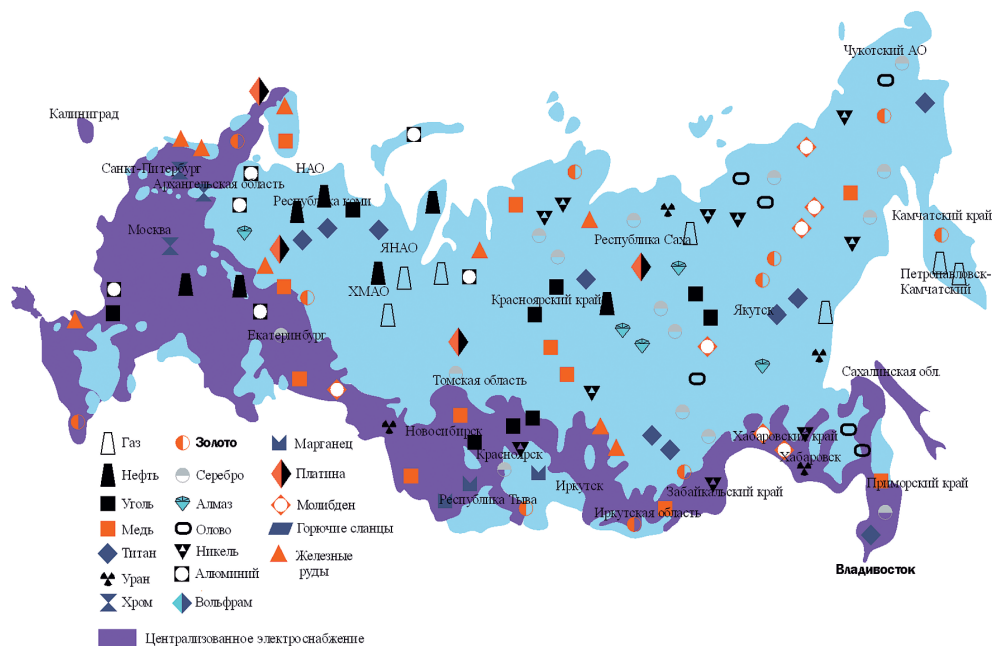


Рис. 1. Соотношение территорий, имеющих централизованное электроснабжение, и мест добычи полезных ископаемых

Fig. 1. The ratio of territories with centralized power supply, and places of mining

солнечные и ветряные электростанции общей мощностью 5 ГВт.

Планы у АРВЭ обширные. Ассоциация планирует подготовить свою концепцию механизма поддержки ВИЭ в предстоящем десятилетии.

Предполагается отстаивание позиции по продолжению помощи сектору ВИЭ через договор на поставку мощности (ДПМ), когда инвестор обязуется в указанные сроки ввести в строй определенный объем генерации, а взамен получает гарантию возврата инвестиций через повышенную стоимость продаваемой мощности в течение длительного периода времени. Отрасль нуждается во множестве законодательных изменений, над чем ассоциация тоже будет работать.

Важнейшей целью ассоциации является обмен опытом с международным сообществом, так как Россия интегрирована в мировую экономику, и обмен опытом с компаниями разных стран очень важен. В последнее время активно разрабатываются стандарты ВИЭ в странах СНГ, взаимодействие с их ассоциациями ВИЭ принесет несомненную пользу.

Эксперты отмечают, что энергия альтернативных источников дороже традиционных, но через 5 лет они в основном сравняются по стоимости. Правительство будет ужесточать требования к эффективности, поэтому Минэнерго РФ будет рассматривать возможность постановки задачи дальнейшего снижения капекса (капитальных вложений) как показателя отбора проектов, не забывая об опеке (операционных издержках). Эти показатели влияют на конечную стоимость

электричества для потребителя и находятся в управляемом режиме. Исходя из этого, электростанции на основе ВИЭ следует строить не там, где определит инвестор, а в тех местах, где существует региональная потребность.

Необходимо отметить, что специфика альтернативной энергетики заключается в ее сильной зависимости от внешних условий. Для каждого региона может быть свой вид возобновляемой энергии. Для регионов с высокой степенью инсоляции уместно использование солнечной энергетики, поскольку солнечные панели можно устанавливать максимально близко к потребителю, что существенно сократит капиталоемкость таких проектов.

В местах с постоянными ветрами (например, на морских побережьях) наиболее эффективными могут быть установки ветроэнергетики, а в районах с развитым сельским хозяйством — биогаз и т. д.

Мировая тенденция складывается так, что стоимость установок ветрогенерации снижается на фоне увеличения стоимости углеводородного топлива, что благотворно влияет на перспективное развитие ветроэнергетики.

Основными барьерами на пути развития объектов альтернативной энергетики является недостаточное развитие производства установок для электростанций ВИЭ, а также неравномерность выработки электроэнергии и потребления вследствие влияния неравномерности внешних факторов и условий ее получения (ветра, солнечного излучения и др.). В связи с этим энергетика ВИЭ резервируется средствами традиционной энергетики.

Для повышения эффективности энергетики ВИЭ необходимы новые технологии накопления электроэнергии, их появление обеспечит технологический прорыв в проблеме применения ВИЭ. В настоящее время во всем мире идут работы по производству накопителей электрической энергии. В деле их создания имеются определенные успехи и в России. В этой связи заслуживают внимания разработки Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), где создан комплекс оборудования, позволяющий накапливать электроэнергию в период ее избытка в электрической системе и мгновенно возвращать в сеть в период ее дефицита. Пока разработаны два накопителя: один мощностью 100...500 кВт, другой — 2...32 МВт. Накопитель мощностью 2 МВт может в течение одного часа обеспечивать электроэнергией населенный пункт среднего размера, а устройство мощностью 32 МВт — небольшой город.

Отечественные накопители значительно дешевле зарубежных аналогов. В перспективе НГТУ планирует увеличить мощность разработанных накопителей с помощью высоковольтных полупроводниковых преобразователей.

Создание мощных накопителей позволит повысить эффективность и надежность электроснабжения потребителей, а также улучшить качество электрической энергии, необходимого для снижения износа электрооборудования и потерь в электрических сетях.

Развитие энергетики ВИЭ характеризуется неуклонным ростом объемов получаемой с их помощью электроэнергии, который составляет в среднем 6...9 % в год [1].

Положительная динамика увеличения генерации ВИЭ достигается в основном за счет увеличения коэффициента полезного действия ВИЭ, постоянного снижения стоимости 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии и удешевления производства ВИЭ вследствие увеличения объемов, совершенствования технологии их производства и появления конкуренции среди производителей ВИЭ.

Увеличение количества электрогенерирующего оборудования на основе ВИЭ и потребителей получаемой электроэнергии привело к необходимости объединения генерирующих источников, потребителей и управляющих звеньев в электроэнергетические системы.

Использование электроэнергетических систем на основе ВИЭ требует исследований по повышению эффективности электрогенерации, улучшения управляемости, повышения надежности электроснабжения и энергосбережения. Энергосбережение может быть достигнуто за счет более эффективной электрогенерации путем автоматизации управления работой генерирующих

источников, вводом и выводом их мощностей в зависимости от внешних факторов, а также уменьшением потерь при электроснабжении потребителей за счет оптимизации преобразовательных процессов и сокращения потерь при передаче электроэнергии от источника потребителю [4].

При создании автономных электроэнергетических систем на основе ВИЭ требуется решение некоторых проблем в связи со следующими их чертами и особенностями:

- большим количеством независимых электрогенерирующих единиц;
- разными принципами электрогенерации и отличающимися параметрами получаемого тока;
- удаленностью средств генерации на ВИЭ от потребителей и большими площадями, занимаемыми средствами генерации;
- необходимостью обеспечения стабильной мощности электрогенерации вырабатываемых и передаваемых мощностей ВИЭ [5–9].

Способам получения энергии из ВИЭ посвящено множество работ. Процесс генерации электроэнергии из ВИЭ является только первым этапом в длинной цепочке энергоснабжения конечного потребителя. После получения от ВИЭ электроэнергия должна быть преобразована в целях ее последующего аккумулирования и хранения. Сложность такого преобразования в первую очередь связана с тем, что различные ВИЭ генерируют электрический ток с отличающимися параметрами [10–15].

Солнечные батареи генерируют постоянный электрический ток. У каждой солнечной панели напряжение и ток различаются ввиду различий их физического состояния, возможных повреждений, места установки и потерь напряжения при передаче электроэнергии. Заметим, что поврежденная солнечная батарея в панели или солнечная панель в системе нескольких панелей могут полностью прекратить выработку электрического тока и начать ее потреблять либо послужить причиной ограничения общей величины силы тока. Для обеспечения возможности заряда аккумулятора от нескольких солнечных батарей требуется установка контролера их работы и зарядного устройства аккумулятора.

Получаемая электроэнергия от ветровых электрогенераторов в корне отличается от вышеописанных солнечных батарей. Самым значительным отличием является то, что ветрогенераторы производят переменный ток, который требует выпрямления для его аккумулирования. Также в связи со своей природой переменный ток каждого ветрогенератора имеет свою частоту и начальный угол сдвига фазы, что вызвано индивидуальной скоростью вращения каждого генератора. Большинство электрогенераторов особенно невысокой

мощности, используемых для электроснабжения удаленных автономных электропотребителей, создано на базе простейшего асинхронного трехфазного электрогенератора. Генерируемый ими переменный ток передается по отдельным проводам от каждой энергоединицы до выпрямителя, после чего выпрямленный ток через зарядное устройство поступает в аккумуляторную батарею. Излишки энергии от ветрогенераторов, которые возникают в случае интенсивного ветра и отсутствия потребителей, как правило, компенсируют подключаемыми высокоомными резисторами, которые переводят излишки электроэнергии в тепло. Это делается в целях недопущения чрезмерной частоты вращения ротора, которое может возникнуть при отсутствии нагрузки, когда слабое магнитное поле недостаточно тормозит ротор генератора. Полученное тепло в резисторах или рассеивается, или используется для подогрева воды в системах тепло- и водоснабжения.

Ситуация, в которой вырабатываемая электроэнергия из ВИЭ превышает необходимые объемы, встречается достаточно редко, чаще отмечается нехватка электроэнергии из ВИЭ для покрытия нужд электропотребления [16–23].

Особенности исследований

В таких ситуациях для обеспечения надежного электроснабжения во всех автономных комплексах предусмотрено наличие генератора, работающего на традиционном энергоносителе: бензине, дизтопливе, газе и т. д. Включение такого генератора происходит в моменты увеличения нагрузки потребления или в периоды отсутствия достаточного поступления электроэнергии из ВИЭ.

Технологический процесс организации электропотребления должен быть гибким за счет включения и отключения различных способов электрогенерации или использования их в гибридном режиме, т. е. в режиме совместной работы традиционных источников и источников электроэнергии из ВИЭ.

Исходя из этих соображений, можно выделить три режима работы электрической системы:

- 1) электрогенерация от ВИЭ отсутствует, и электроснабжение осуществляется от генератора, например, дизельного;
- 2) электроэнергии от ВИЭ достаточно, и электроснабжение осуществляется без участия дизельного генератора;
- 3) гибридный режим работы (дизельгенератор работает совместно с источниками электроэнергии из ВИЭ).

Гибридный режим работы с точки зрения организации электроснабжения является наиболее сложным для электрической системы: он используется при недостаточной электрогенерации от

ВИЭ и в случае необходимости обеспечения очень высокой потребляемой мощности в системе электроснабжения. Высокая мощность потребления возникает во время пуска крупных электродвигателей, при ежесуточных пиковых нагрузках электропотребления, например, вечером, либо вызвана технологическим процессом (например, пропаркой древесины в сушильных камерах).

Большинство промышленных и бытовых электропотребителей работают на переменном электрическом токе, что при наличии уже одного существующего генератора переменного тока в сети вызывает необходимость в согласующем инверторе постоянного электрического тока.

Цель работы

Цель работы — создание следящего инвертора, преобразующего постоянный электрический ток в переменный по характеристикам, которые задает параллельно работающий генератор переменного тока. Основными характеристиками при этом являются напряжение, частота и угол сдвига фаз.

Материалы исследования

Для решения поставленной задачи в МГТУ им. Н.Э. Баумана был создан инвертор, ведомый сетью [3]. На рис. 2 показана схема параллельной работы источника переменного тока E1 и источника постоянного тока E2. Поясним работу следящего инвертора.

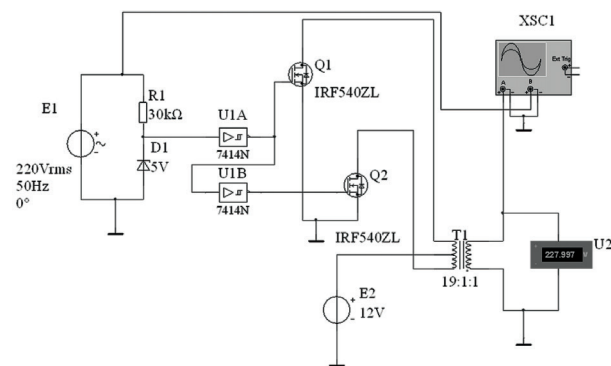


Рис. 2. Принципиальная схема инвертора, ведомого сетью
Fig. 2. Schematic diagram of the inverter driven by the network

Устройство синхронизации (см. рис. 2) состоит из балластного резистора R1, стабилитрона D1 и двух триггеров Шмитта — U1A и U1B. Сигнал синхронизации, проходя через резистор R1 и стабилитрон D1, создает управляющий сигнал, который преобразуется триггером Шмитта и делится на два управляющих противоположных по фазе сигнала с частотой 50 Гц, которые поступают на транзисторы Q1 и Q2 (IRF540). Эти сигналы открывают и закрывают транзисторы с заданной частотой. Входами транзисторов служит контакт с положительным потенциалом аккумулятора 12V,

являющимся накопительным буфером электроэнергии, сгенерированной из ВИЭ, выходом — две обмотки трехобмоточного трансформатора Т1(12V-0-12V), выходная обмотка которого генерирует электрический ток напряжением 220В с частотой и направлением, задаваемыми направлением и частотой напряжений входных обмоток. Таким образом попеременное открытие транзисторов, задаваемое частотой напряжения эталонной сети, поочередно подает ток на первичные обмотки трансформатора, что обеспечивает на выходе электрический ток с напряжением 220В с частотой и сдвигом фазы, равными соответствующим параметрам эталонной сети.

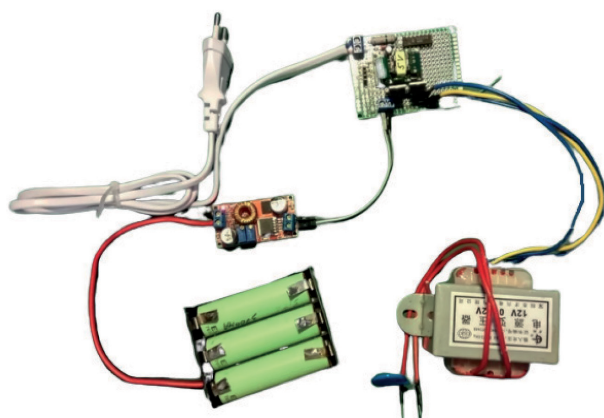


Рис. 3. Экспериментальный образец следящего инвертора, ведомого сетью

Fig. 3. An experimental sample of a tracking inverter driven by a network

Экспериментальный образец следящего инвертора, ведомого сетью, представлен на рис. 3.

Результаты

Предложенное техническое решение позволяет согласовать работу традиционного электрического генератора с генераторами электрической энергии из ВИЭ, т. е. делает вполне реальным подключение двух генераторов (переменного и постоянного тока) в целях суммирования их мощностей в одной электрической системе.

Выводы

1. Возобновляемые источники энергии составляют основу нового интенсивно развивающегося направления в развитии энергетики — распределенной генерации.

2. Создание в России Ассоциации развития возобновляемой энергетики ознаменовало начало формирования в стране крупного энергетического и научно-образовательного комплекса и отрасли высокотехнологичного электромашиностроения.

3. Развитие энергетики возобновляемых источников энергии, увеличение количества генерирующего оборудования на их основе и потребите-

лей получаемой электроэнергии обуславливает необходимость создания автономных электроэнергетических систем, в том числе и в лесном комплексе страны.

4. Для использования электроэнергетических систем на основе возобновляемых источников энергии требуется проведение исследований по повышению эффективности их работы в результате эффективной электрогенерации и автоматизации управления работой генерирующих источников, а также уменьшения потерь энергии во всех ее звеньях.

5. Представленная в настоящей статье инженерная разработка следящего инвертора позволяет согласовывать работу традиционного электрического генератора и генераторов электрической энергии на основе возобновляемых источников энергии, что открывает реальные возможности для надежного электроснабжения потребителей в автономных электроэнергетических системах.

Список литературы

- [1] Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Политехнический ун-т, 2016. 424 с.
- [2] Баланов П.Е., Смотраева И.В., Иванченко О.Б., Хабибуллин Р.Э. Биотехнология и биоэнергетика в решении вопросов экологии // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 5. С. 229–232.
- [3] Васильев И.А., Люминарская Е.С., Селиванов К.В. Гибридная энергетика как способ электрификации географически изолированных потребителей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2018, № 4–2 (330). С. 154–161.
- [4] Селиванов К.В. Малая распределенная энергетика как средство обеспечения энергобезопасности России // Междунар. конф. «Лесной комплекс сегодня. Экономика. Взгляд молодых исследователей — 2017», Москва, 26–27 мая, 2017 г. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 217–220.
- [5] Селиванов К.В. Анализ способов малого распределенного электроснабжения // International research journal, 2017. № 01 (55). Ч. 4. С. 107–110.
- [6] Чиндяскин В.И., Большаков Е.В. Экспериментальные исследования переходных процессов при подключении возобновляемых источников электроэнергии к электрическим сетям // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2017. № 1 (63). С. 92–96
- [7] Распоряжение Правительства Российской Федерации «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года» от 9 июня 2017 г. № 1209-р.
- [8] Solar market analyzes. URL: <http://www.bloomberg.com> (дата обращения 01.02.2020)
- [9] Elistratov V.V., Kudryasheva I.G. Principles of an integrated approach to determining the efficiency of stand-alone wind-diesel power systems // Power Technology and Engineering, 2016, no. 49 (6), pp. 1–4. DOI: 10.1007/s10749-016-0647-1
- [10] BP Statistical Review of World Energy 2016. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>. (дата обращения 01.02.2020).
- [11] Безруких П.П. Ветроэнергетика. М.: Энергия, 2010. 320 с.
- [12] Березкин М.Ю. Экологические и технологические стимулы развития возобновляемой энергетики // Фи-

- зические проблемы экологии (Экологическая физика), 2010, № 17. С. 48–54.
- [13] Сидоренко Г.И., Кудряшева И.Г., Пименов В.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Технично-экономический анализ. СПбГУ: Политехнический ун-т, 2008. 247 с.
- [14] Федянин В.Я. Мещеряков В.А. Инновационные технологии для повышения эффективности алтайской энергетики: монография. Барнаул: Изд-во Алтайской академии экономики и права, 2010. 192 с.
- [15] Алексеев В.В., Рустамов Н.А., Чекарев К.В., Ковешников Л.А. Перспективы развития альтернативной энергетики. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. 151 с.
- [16] Возобновляемая энергетика / под ред. В.В. Алексеева. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. 188 с.
- [17] Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития и использования ветроэнергетики в России. М.: Атмограф, 2011. 502 с.
- [18] Соловьев А.А. Динамические аналогии в нетрадиционной энергетике. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. 56 с.
- [19] «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
- [20] Березкин М.Ю., Синюгин О.А. География инноваций и возобновляемая энергетика мира // Малая энергетика, 2011. № 1–2. С. 3–5
- [21] Chiras Laniel D. The Solar House: passive solar heating and colling. White River Junction, Vermont: Chealsea Green Publishing Company, 2002. 274 с.
- [22] WASP. Manual for Wind Farm Design. Wind Monitoring & Analysis and Interpretation of Wind Data. Calculation of Predicted Wind Farm Output. Garrad Hassan. Glasqow, Scotland. 2009.
- [23] Gridasov M.V., Kiseleva S.V. Nefedova L.V., Popel' O.S., Frid S.E., Development of the Geoinformation System "Renewable Soufces of Russia": Statement of the Problem and Choice of Solution Methods // Thermal Engineering, 2011, v. 58, no. 11, pp. 924–931.

Сведения об авторах

Васильев Игорь Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры ФН-7 «Электротехника и промышленная электроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, ivasiliev@rslab.ru

Кольниченко Георгий Иванович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), g_kolnic@mail.ru

Тарлаков Яков Викторович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tarlakov@mgul.ac.ru

Сиротов Александр Владиславович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), sirotov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 02.03.2020.

Принята к публикации 18.03.2020.

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN INDEPENDENT SYSTEMS OF POWER SUPPLY

I.A. Vasil'ev¹, G.I. Kol'nichenko², Y.V. Tarlakov², A.V. Sirotov²

¹BMSTU, 5, 2nd Baumanskaya st., 105005, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

g_kolnic@mail.ru

The article notes that Russia has large reserves of traditional energy resources and occupies one of the leading places among the countries exporting hydrocarbons. But its vast territories and many areas located far from centralized electricity and heat supply make it necessary to consider renewable energy sources as Autonomous energy sources, which form the basis of a new rapidly developing direction of the electric power industry — distributed generation. A significant increase in the number of power generating equipment based on RES and consumers of the received energy leads to the need to combine generating sources, consumers and control units in Autonomous energy systems. Due to the uneven generation and consumption of energy due to the influence of external conditions and factors (wind, solar radiation, etc.), RES energy in such systems is reserved by means of traditional energy (gasoline, diesel generators, etc.) in the so-called hybrid mode, when the alternator works together with RES sources. In this case, the problem arises of creating a tracking inverter that converts DC to AC according to the characteristics created by a parallel AC generator. The inverter developed at Bauman Moscow state technical University successfully solves this problem and thus makes it quite possible to connect generators in order to sum their capacities in a single electrical system.

Keywords: renewable energy sources, power supply, independent systems, inverters

Suggested citation: Vasil'ev I.A., Kol'nichenko G.I., Tarlakov Y.V., Sirotov A.V. *Vozobnovlyayemye istochniki energii v avtonomnykh sistemakh elektrosnabzheniya* [Renewable energy sources in independent systems of power supply]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 91–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-91-97

References

- [1] Elistratov V.V. *Vozobnovlyayemaya energetika* [Renewable energy]. St. Petersburg: Politekhicheskiy un-t [Polytechnic University], 2016, 442 p.

- [2] Balanov P.E., Smotraeva I.V., Ivanchenko O.B., Khabibullin R.E. *Biotekhnologiya i bioenergetika v reshenii voprosov ekologii* [Biotechnology and bioenergy in solving environmental issues]. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University], 2015, v. 18, no. 5, pp. 229–232.
- [3] Vasil'ev I.A., Lyuminarskaya E.S., Selivanov K.V. *Gibridnaya energetika kak sposob elektrifikatsii geograficheski izolirovannykh potrebiteley* [Hybrid energy as a way of electrifying geographically isolated consumers]. Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii [Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology], 2018, no. 4–2 (330), pp. 154–161.
- [4] Selivanov K.V. *Malaya raspredelennaya energetika kak sredstvo obespecheniya energobezopasnosti Rossii* [Small distributed energy as a means of ensuring the energy security of Russia]. Mezhdunarodnaya konferentsiya «Lesnoy kompleks segodnya. Ekonomika. Vzglyad molodykh issledovateley – 2017» [International Conference «Forestry Complex Today. Economy. The View of Young Researchers - 2017»], Moscow, May 26–27, 2017. Moscow: MSTU. N.E. Bauman, 2017, pp. 217–220.
- [5] Selivanov K.V. *Analiz sposobov malogo raspredelennogo elektrosnabzheniya* [Analysis of small distributed power supply methods]. International research journal, 2017, no. 01 (55), part 4, pp. 107–110.
- [6] Chindyaskin V.I., Bol'shakov E.V. *Eksperimental'nye issledovaniya perekhodnykh protsessov pri podklyuchenii vozobnovlyaemykh istochnikov elektroenergii k elektricheskim setyam* [Experimental studies of transients when connecting renewable energy sources to electric networks]. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University], 2017, no. 1 (63), pp. 92–96.
- [7] *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii «General'naya skhema razmeshcheniya ob'ektov elektroenergetiki do 2035 goda»* [Order of the Government of the Russian Federation «General Scheme for the Placement of Electric Power Facilities until 2035»] dated June 9, 2017. No. 1209-r.
- [8] Solar market analyzes. Available at: <http://www.bloomberg.com> (accessed 02.01.2020).
- [9] Elistratov V.V., Kudryasheva I.G. Principles of an integrated approach to determining the efficiency of stand-alone wind-diesel power systems. *Power Technology and Engineering*, 2016, no. 49 (6), pp. 1–4. DOI: 10.1007/s10749-016-0647-1
- [10] BP Statistical Review of World Energy 2016. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>. (accessed 02.01.2020).
- [11] Bezrukikh P.P. *Vetroenergetika* [Wind power]. Moscow: Energiya [Energy], 2010, 320 p.
- [12] Berezkin M.Yu. *Ekologicheskie i tekhnologicheskie stimuly razvitiya vozobnovlyaemoy energetiki* [Ecological and technological incentives for the development of renewable energy]. Fizicheskie problemy ekologii (Ekologicheskaya fizika) [Physical problems of ecology (Ecological physics)], 2010, no. 17, pp. 48–54.
- [13] Sidorenko G.I., Kudryasheva I.G., Pimenov V.I. *Ekonomika ustanovok netraditsionnykh i vozobnovlyaemykh istochnikov energii. Tekhniko-ekonomicheskii analiz* [Economics of alternative and renewable energy installations. Technical and economic analysis]. St. Petersburg: St. Petersburg State University, Polytechnic University, 2008, 247 p.
- [14] Fedyanin V.Ya. Meshcheryakov V.A. *Innovatsionnye tekhnologii dlya povysheniya effektivnosti altayskoy energetiki* [Innovative technologies to improve the efficiency of Altai energy]. Barnaul: AAEP, 2010, 192 p.
- [15] Alekseev V.V., Rustamov N.A., Chekarev K.V., Koveshnikov L.A. *Perspektivy razvitiya al'ternativnoy energetiki* [Prospects for the development of alternative energy]. Moscow: Moscow State University, 1999, 151 p.
- [16] *Vozobnovlyaemaya energetika* [Renewable Energy]. Ed. V.V. Alekseev. Moscow: Moscow State University, 1999, 188 p.
- [17] Nikolaev V.G. *Resursnoe i tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie shirokomasshtabnogo razvitiya i ispol'zovaniya vetroenergetiki v Rossii* [Resource and feasibility study of the large-scale development and use of wind energy in Russia]. Moscow: Atmograf, 2011, 502 p.
- [18] Solov'ev A.A. *Dinamicheskie analogii v netraditsionnoy energetike* [Dynamic analogies in alternative energy]. Moscow: Moscow State University, 1999, 56 p.
- [19] «Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda» Uтверждена распоряжением Правитель'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. [«Energy Strategy of Russia for the Period until 2030» Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009]. No. 1715-r.
- [20] Berezkin M. Yu., Sinyugin O.A. *Geografiya innovatsiy i vozobnovlyaemaya energetika mira* [The geography of innovation and renewable energy in the world]. Malaya energetika [Small Energy], 2011, no. 1–2, pp. 3–5
- [21] Chiras Laniel D. *The Solar House: passive solar heating and colling*. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing Company, 2002, 274 p.
- [22] WAsP. *Manual for Wind Farm Design. Wind Monitoring & Analysis and Interpretation of Wind Data. Calculation of Predicted Wind Farm Output*. Garrad Hassan. Glasqow, Scotland, 2009.
- [23] Gridasov M.V., Kiseleva S.V., Nefedova L.V., Popel' O.S., Frid S.E., Development of the Geoinformation System «Renewable Soufces of Russia»: Statement of the Problem and Choice of Solution Methods. *Thermal Engineering*, 2011, v. 58, no. 11, pp. 924–931.

Authors' information

Vasil'ev Igor' Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU, ivasiliev@rslab.ru

Kol'nichenko Georgiy Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), g_kolnic@mail.ru

Tarlakov Yakov Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tarlakov@mgul.ac.ru

Siroto Vladislavovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), siroto@mgul.ac.ru

Received 02.03.2020.

Accepted for publication 18.03.2020.