

МОБИЛЬНЫЕ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

О.В. Григораш, grigorasch61@mail.ru
Е.А. Денисенко, denisenko_88@mail.ru
Д.Н. Грищенко, professs0r@yandex.ru
П.М. Барышев, petiabaryshev@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Аннотация. Статья посвящена исследованию перспектив применения мобильных ветро-солнечных электростанций для электроснабжения автономных потребителей электроэнергии, удаленных от внешней энергетической системы. Рассматриваются преимущества, недостатки, основные энергетические параметры, особенности работы известных технических решений мобильных электростанций, а также факторы, влияющие на выбор возобновляемых источников электроэнергии, и требования современных автономных потребителей к качеству электроэнергии. Раскрыты направления улучшения эксплуатационно-технических характеристик мобильных ветро-солнечных электростанций и приведены технико-экономические показатели станций, выполненные на современной элементной базе.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, мобильная ветро-солнечная электростанция, дизельная электростанция, солнечная фотоэнергетическая установка, ветроэнергетическая установка

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/27.

Для цитирования: Мобильные ветро-солнечные электростанции: состояние, перспективы и особенности проектирования / О.В. Григораш, Е.А. Денисенко, Д.Н. Грищенко, П.М. Барышев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023. Т. 23, № 1. С. 48–55. DOI: 10.14529/power230105

Original article
DOI: 10.14529/power230105

MOBILE WIND AND SOLAR POWER PLANTS: STATUS, PROSPECTS, AND DESIGN FEATURES

O.V. Grigorash, grigorasch61@mail.ru
E.A. Denisenko, denisenko_88@mail.ru
D.N. Grishchenko, professs0r@yandex.ru
P.M. Baryshev, petiabaryshev@mail.ru

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Abstract. This article investigates the use of mobile wind and solar power plants for remote autonomous electricity consumers. The advantages, disadvantages, main energy parameters, features of well-known mobile power plants, factors affecting the choice of renewable sources of electricity, and the requirements of modern autonomous consumers for the quality of electricity are considered. Directions for improving the operational and technical characteristics of mobile wind and solar power plants are disclosed and technical and economic indicators are given.

Keywords: renewable energy sources, mobile wind-solar power plant, diesel power plant, solar photovoltaic installation, wind power plant

Acknowledgments. The research was carried out with the financial support of the Kuban Scientific Foundation as part of the scientific project no. IFI-20.1/27.

For citation: Grigorash O.V. Denisenko E.A. Grishchenko D.N. Baryshev P.M. Mobile wind and solar power plants: status, prospects, and design features. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering.* 2023;23(1):48–55. (In Russ.) DOI: 10.14529/power230105

Введение

В настоящее время основным объектом энергоснабжения потребителей в децентрализованных районах являются дизельные электростанции (ДЭС). Важные факты: эксплуатация ДЭС не допускается при нагрузках меньше 40 %, поскольку в этом случае увеличивается потребление топлива дизельного двигателя и понижается КПД станции. Работа ДЭС сопровождается сильным шумом и высоким уровнем выхлопных газов. Цена ДЭС мощностью 5–6 кВт превышает 40 тыс. руб., при 100%-ной загрузке расход топлива около 2,5 л/ч, т. е. цена 1 кВт·ч энергии составляет примерно 25 руб. [1]. Несмотря на то, что ДЭС имеют много недостатков, их применение является вынужденной мерой ввиду отсутствия достойных аналогов.

Как известно, основными стратегическими целями применения ВИЭ в России являются [2]:

- 1) снижение темпов роста потребления органического топлива и сохранение его запасов;
- 2) повышение энергетической безопасности и надежности энергоснабжения субъектов России;
- 3) снижение затрат на передачу и распределение энергии, а также транспортировку традиционного топлива;
- 4) достижение комфортных условий труда и быта населения, проживающего в удаленных и труднодоступных районах;
- 5) преодоление отставания от мирового уровня в производстве высокотехнологичного оборудования для возобновляемой энергетики;
- 6) снижение вредных выбросов при производстве электрической и тепловой энергии и в целом улучшение экологической обстановки.

В настоящее время мобильные комбинированные (гибридные) электростанции, выполненные на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), широко в мире и в нашей стране не применяются. Однако сегодня отказаться от автономных стационарных и мобильных электростанций невозможно, поскольку применение их для энергоснабжения потребителей, удаленных от внешней энергетической системы, в большинстве случаев является экономически выгоднее в сравнении с ДЭС или строительством линий электропередач от центральной энергосистемы [3–7]. Кроме того, применение в качестве источников энергии ВИЭ позволит перейти на новый технологический баланс в энергетике, диктуемый поставленными стратегическими целями в развитии энергетики в России [8–10].

Теоретическая часть

В нашей стране одним из перспективных направлений является разработка и внедрение мобильных ветро-солнечных электростанций (МВСЭ) в южных регионах. Они могут применяться для электроснабжения малых фермерских и личных подсобных хозяйств, кемпингов и турбаз, аварий-

ных и дорожных служб, армейских подразделений, объектов МЧС, а также подразделений, занимающиеся геологопоисковыми и геологоразведочными работами, и других объектов. Большинство из рассмотренных объектов не требуют постоянного электроснабжения. Это период от нескольких дней до нескольких месяцев. К примеру, электроснабжение малых фермерских хозяйств, занимающихся производством мёда, рыбы, выращиванием овощей и фруктов, занимает период 5–6 месяцев, время аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ, как правило, составляет не больше месяца [11, 12].

В настоящее время известны технические решения мобильных МВСЭ на автоприцепах, которые в своём составе имеют ветроэнергетическую установку (ВЭУ), солнечную фотоэнергетическую установку (СФЭУ), аккумуляторные батареи (АБ) и могут иметь резервный источник электроэнергии, как правило, бензогенератор (БГ) или ДЭС [4, 13, 14].

Для улучшения эксплуатационно-технических характеристик МВСЭ целесообразно провести анализ достоинств и недостатков эксплуатируемых станций, в том числе основных эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) и режимов работы, а также требований современных потребителей электроэнергии и новых технических решений функциональных элементов.

Основные преимущества МВСЭ [15, 16]:

- мобильность и оперативность развёртывания (5–7 мин), работают в автономном режиме (контроль параметров и защита в аварийных ситуациях происходит автоматически);
- обеспечивают электроэнергией потребителей, находящихся в труднодоступных районах, включая районы, в которых возникают аварийные и стихийные ситуации;
- бесперебойное и качественное энергоснабжение потребителей за счет резервирования работы генерирующих установок;
- высокий КПД за счет оптимизации режимов работы различных источников электроэнергии;
- наличие системы автоматического включения резерва (АВР) позволяет обеспечивать бесперебойное электроснабжение потребителей электроэнергии, а также включаться на параллельную работу, при необходимости увеличения установленной мощности, с другими источниками электроэнергии;
- большой срок службы без обслуживания, который может достигать нескольких месяцев, что важно для потребителей малых фермерских хозяйств, эксплуатируемых в основном в летне-осенний сезон;
- не используются дорогостоящие устройства слежением за солнцем, а повышение уровня солнечной радиации достигается за счёт ручного перемещения прицепа через каждые 2–3 ч, что позволяет повысить КПД солнечных батарей;

– имеют опцию онлайн-мониторинг за работой основных функциональных элементов (солнечных батарей, ветроустановок, инвертора, контроллера, аккумуляторных батарей и т. п.);

– простой монтаж и незначительные затраты на техническое обслуживание;

– высокий диапазон рабочих температур от –30 до +50 °С.

Основные недостатки известных технических решений МВСЭ [15–17]:

– возможность эффективного использования только в районах с высоким уровнем солнечной инсоляции (радиации) и средней годовой скоростью ветра не ниже 5 м/с;

– непостоянство в выработке электроэнергии в течение суток одним из источников (ветроэнергетической или солнечной фотоэнергетической установкой);

– не генерируют трёхфазную систему напряжений.

Практическая часть

В общем случае СФЭУ вырабатывают электроэнергию постоянного тока напряжением 12, 24 и 48 В. Их солнечные инверторы преобразуют постоянный ток в однофазное напряжение 220 В с частотой 50 Гц. ВЭУ могут быть как переменного, так и постоянного тока. Суммарная мощность МВСЭ находится в пределах от 3 до 12 кВт.

Электроэнергия, вырабатываемая от МВСЭ, имеет более равномерные потоки по сравнению с ВЭУ и СФЭУ, используемыми в отдельности.

Как правило, алгоритм включения в работу источников электроэнергии следующий. В пасмурную погоду или ночное время энергию вырабатывают ВЭУ, а в безветрие – СФЭУ. Когда отсутствуют условия для выработки электроэнергии ВИЭ, питание потребителей осуществляется от аккумуляторных батарей (АБ), а при их разряде до допустимого уровня в работу включаются резервные традиционные источники электроэнергии ДЭС или БГ. В случае когда электроэнергия вырабатывается одновременно ВЭУ и СФЭУ, тогда вырабатываемая излишняя (не потребляемая потребителями) электроэнергия запасается в АБ для дальнейшего использования в неблагоприятные погодные условия.

В России разрабатываются ООО «АльтЭнергия» МВСЭ (модель МС) [3]. В таблице приведены энергетические параметры этих станций.

МВСЭ модели МС (рис. 1) генерируют однофазное синусоидальное напряжение 220 В с частотой тока 50 Гц и напряжение постоянного тока от 12 до 48 В. Во всех моделях применяются опции дистанционного управления, в том числе автоматического включения резерва, параллельной работы с сетью и регулирование угла наклона солнечных батарей от 25 до 180°, а также предусмотрен выход для мониторинга на персональный компьютер. Запуск ДЭС может осуществляться в ручном режиме и автоматически.

На долю ВИЭ приходится не более 60 % вырабатываемой электроэнергии МВСЭ, если её мощность 3 кВт, и не более 30 %, если её мощность 12 кВт.

Производители гарантируют срок службы МВСЭ 25 лет. Цена мобильной станции в зависимости от мощности и комплектации находится в пределах от 400 до 1500 тыс. руб.

Первый и единственный в России завод полного цикла, где происходит процесс создания солнечных модулей от поступления сырья, производства фотоэлектрических ячеек и до отгрузки готовых изделий находится в г. Новочебоксарск (компания «Хевел») [4]. МВСЭ (рис. 2) предназначена для применения в полевых условиях и монтируется на базовом полуприцепе. Комплектуется 6 солнечными батареями общей мощностью 2 кВт. Аккумуляторные батареи (4–6 шт.), ёмкостью 150 А·ч каждая, обеспечивают запас электроэнергии 1,2 кВт·ч. Автономный инвертор преобразует постоянный ток от АБ в напряжение переменного тока 220 В. На мачте устанавливается ВЭУ небольшой мощности (до 600 Вт). Для обеспечения резервного электроснабжения в прицепе устанавливается ДЭС мощностью 5кВт. Электрооборудование установлено в специальном шкафу со степенью защиты IP 67. Стоимость при комплектации с ДЭС превышает 1300 тыс. руб.

Особенностью работы МВСЭ является то, что энергия от ВЭУ и СФЭУ накапливается в АБ с последующим преобразованием её инвертором. МВСЭ может быть укомплектована дополнительными инвертором с выходным напряжением 115 В

Энергетические параметры МВСЭ модели МС
Energy parameters of mobile wind and solar power plants

Наименование параметров	МС3-12	МС4-24	МС6-24	МС12-24
1. Номинальная мощность, кВт	3	4	6	12
2. Пиковая мощность, кВт	3,5	4,7	7	14
3. Номинальная мощность СФЭУ, кВт	1,4–1,7	1,4–1,7	1,2–2,0	2,0–2,7
4. Выходное напряжение постоянного тока, В	12, 24	12, 24, 48	24, 48	24, 48
5. Номинальная мощность ВЭУ, Вт	400–600	400–800	800–900	800–1000
6. Ёмкость АБ, А·ч	600–800	800–1000	1000–1200	1000–1200
7. Максимальный зарядный ток АБ, А	30	40	60	70
8. Номинальная мощность ДЭС, кВт	1,2	2,0	2,0–3,0	3,0–5,0



Рис. 1. Внешний вид МВСЭ модели MC
Fig. 1. A mobile wind and solar power plant



Рис. 2. Внешний вид МВСЭ серии АГЭУ-М
компании «Хевел»
Fig. 2. The Hevel mobile wind and solar power plant

и частотой 50, 200 и 400 Гц и другими уровнями параметров электроэнергии переменного тока в зависимости от требований потребителей. Для увеличения установленной мощности автономного источника электроэнергии предусмотрена параллельная работа нескольких типовых МВСЭ.

В основе своей потребителями электроэнергии МВСЭ являются потребители, обеспечивающие жизнедеятельность обслуживающего персонала. Они потребляют более 70 % энергии, а остальная часть энергии приходится на технологические процессы. Потребителями электроэнергии МВСЭ являются электробытовые приборы, элек-

троинструмент, осветительные приборы, средства связи и телекоммуникации и т. п.

Одним из основных недостатков рассмотренных МВСЭ является то, что основным производителем энергии является ДЭС. Кроме того, они генерируют однофазное напряжение синусоидального тока.

На рис. 3 приведены западные аналоги мобильных станций MOBISUN PLUS, которые применяются для заряда АБ электроинструмента, беспилотных летательных аппаратов и питания осветительной нагрузки. Мощность СФЭУ 2 кВт. Эти станции являются только источниками напряжения постоянного тока.



Рис. 3. Мобильные электростанции серии MOBISUN PLUS
Fig. 3. MOBISUN PLUS series mobile solar power plants

Большинство потребителей электроэнергии сельского хозяйства, согласно ПУЭ, относят к 3-й категории по надежности электроснабжения. Многие потребители удалены от внешней энергетической системы, прежде всего к ним относятся потребители МФХ, занимающиеся сезонной выработкой продукции. МВСЭ способны обеспечивать стабильной и дешёвой электроэнергией сельскохозяйственных потребителей для ведения устойчивого сельскохозяйственного производства, т. е. повышать его рентабельность, особенно в отдалённых от внешней энергосистемы районах.

Как правило, установленная мощность потребителей электроэнергии МФХ составляет 6–10 кВт. Однако нет необходимости выбирать мощность источников электроэнергии исходя из значения пиковой нагрузки, так как пиковое потребление может быть сглажено бензогенератором и/или АБ. Также ошибочным является расчёт мощности источников исходя из установленной общей мощности потребителей электроэнергии, так как они никогда не работают одновременно [9, 18].

Таким образом, применение МВСЭ является достаточно перспективным решением проблемы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей в децентрализованных районах.

При разработке энергоэффективных МВСЭ необходимо учитывать основные требования современных автономных потребителей к системам электроснабжения [10, 19, 20]:

- суммарная мощность должна находиться в пределах от 3 до 10 кВт;
- генерировать напряжение постоянного тока (12, 24 и 48 В), однофазное и трёхфазное напряжение переменного тока промышленной и повышенной частоты, соответственно 115, 220 и 380 В, а также ток переменной частоты (для регулирования частоты вращения электропривода);
- обеспечивать качественное и надёжное электроснабжение;
- работа системы должна быть автоматизированной;
- электроснабжение потребителей должно осуществляться в сложных климатических усло-

виях (диапазон рабочих температур от –30 до +50 °С).

Для улучшения эксплуатационно-технических характеристик МВСЭ в их составе необходимо использовать роторные ВЭУ (вертикально-осевые установки), которые генерируют энергию при скоростях ветра от 2 м/с. Трёхфазную систему напряжения необходимо получать за счёт применения в составе однофазного инвертора однофазно-трёхфазного трансформатора с вращающимся магнитным полем (ТВМП). Кроме того, коммутационные аппараты должны быть выполнены на базе силовых электронных приборов. При этом основные функциональные элементы станции должны быть построены по модульному принципу, обеспечивая быструю их замену в случае аварийных ситуаций [10].

Результаты

На рис. 4 приведена структурная схема МВСЭ, выполненной на современной элементной базе. К шине Ш1 подключаются потребители постоянного тока, таких шин в составе МВСЭ может быть несколько для обеспечения потребителей электроэнергией напряжениями 12, 24 и 48 В. К шине Ш2 подключаются потребители переменного тока. При выработке трёхфазного напряжения станция имеет три шины.

Технико-экономические показатели МВСЭ (см. рис. 4) с суммарной мощностью источников электроэнергии 7 кВт, содержащей две ВЭУ роторного типа мощностью по 500 Вт, два СФЭУ мощностью по 1,5 кВт, бензогенератор БГ мощностью 2 кВт (по ценам на 01.10.2022 г.):

- ВЭУ роторного типа – 70–80 тыс. руб.;
- солнечные батареи СФЭУ – около 50 тыс. руб.;
- бензогенератор (БГ) – 30 тыс. руб.;
- инвертор с встроенным контроллером – 40–50 тыс. руб.;
- аккумуляторная батарея (АБ) ёмкостью по 200 А·ч – 35 тыс. руб.;
- суммарный вес энергетических функциональных элементов с каркасом без автоприцепа – 350–400 кг;

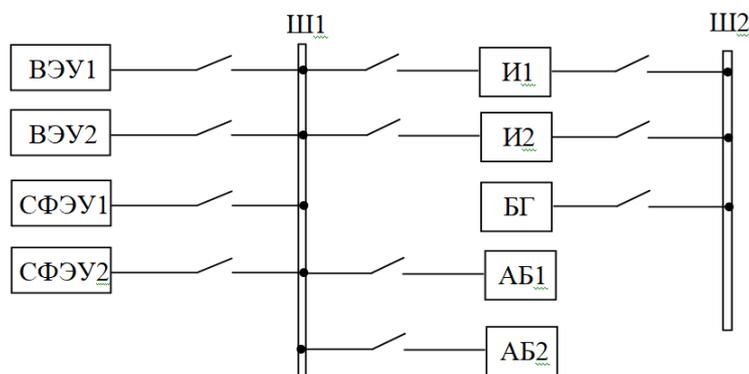


Рис. 4. Структурная схема МВСЭ
Fig. 4. Structural diagram of a mobile wind and solar power plant

– масса и цена автоприцепа грузоподъемностью до 500 кг составляет 700 кг и около 45 тыс. руб. соответственно;

– полная масса и цена МВСЭ с коммутационной и защитной аппаратурой – около 1100 кг и 650 тыс. руб. соответственно.

Важным является вопрос оптимального использования ресурсов возобновляемой энергетики для конкретной местности с учётом технико-экономических показателей основных функциональных элементов МВСЭ. Сегодня известны методики для достаточно точного расчета повторяемости ветра и солнца в течение дня, месяца, года и нескольких лет [10, 11]. Однако при выборе ВИЭ и определении их мощности необходимо учитывать следующие основные факторы:

1) потенциал ветровой и солнечной энергии;
2) удельная стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой СФЭУ, ВЭУ, АБ и БГ или ДЭС;

3) мощность потребителей электроэнергии, работающих одновременно;

4) время непрерывной работы АБ и резервных источников электроэнергии при отсутствии энергии ветра и/или солнца.

Комментарии к рассмотренным факторам. При разработке энергоэффективного структурно-схемного решения МВСЭ необходимо учитывать не только потенциал возобновляемой энергетики, но и стоимость СФЭУ и ВЭУ. Пример, цена роторной ВЭУ мощностью 500 Вт составляет около 80 тыс. руб., а СФЭУ (солнечные батареи, инвертор с встроенным контроллером) мощностью 1,5 кВт – 100 тыс. руб. На первый взгляд целесообразно повышение мощности МВСЭ обеспечить за счёт СФЭУ, однако необходимо учитывать

возможные погодные условия и что в ночное время СФЭУ не вырабатывает энергию. Здесь определяющим фактором является мощность потребителей электроэнергии, работающих одновременно, в том числе в ночное время. Поэтому мощность ВЭУ должна быть ориентирована на потребителей, работающих в ночное время, а недостаток энергии, к примеру, в пасмурную погоду должен пополняться за счёт АБ и после их разряда БГ.

Выводы

1. Таким образом, с учётом стратегических целей развития энергетики России сегодня актуальным является направление применения МВСЭ для электроснабжения автономных потребителей электроэнергии, удаленных от внешней энергетической системы.

2. Рассмотренные преимущества, недостатки, основные энергетические параметры, особенности работы МВСЭ и требования потребителей к качеству электроэнергии позволят повысить эффективность предпроектных работ по разработке энергоэффективных мобильных электростанций для автономных потребителей электроэнергии.

3. Улучшить эксплуатационно-технические характеристики МВСЭ можно за счёт применения новой элементной базы, и построение станции осуществлять, используя принцип модульного агрегатирования функциональных элементов.

4. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение электромагнитной совместимости основных силовых функциональных элементов МВСЭ и оптимизацию её структурно-схемных решений с учётом графика электрических нагрузок потребителей электроэнергии.

Список литературы

1. Школа потребителей генераторов. URL: <https://skatpower.ru/school-of-consumer>.
2. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ № 1523-р от 09.06. 2020 г.
3. Мобильные ветро-солнечные гибридные электростанции мощностью от 3 до 12 кВт с резервным ДГУ. URL: <http://cs3.a5.ru/media/45/7a/25/457a25dde268a7b2bd02395659a3386f.pdf>.
4. Mobile hybrid wind and solar power plant. URL: <https://mobismart.ca/mobisun-mobile-solar-generators>.
5. Григораш О.В., Кривошей А.А., Смык В.В. Автономные гибридные электростанции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 124. С. 1441–1452. DOI: 10.21515/1990-4665-124-095
6. Ветро-солнечный генератор и его характеристики / Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, И.Б. Самородов и др. // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2019. № 6. С. 201–214.
7. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения / Г.В. Никитенко, Е.В. Коноплев, А.А. Лысаков и др. // Сельский механизатор. 2018. № 4. С. 28–29.
8. Юдаев И.В., Даус Ю.В. Солнечная электроэнергетика Юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития // Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». 2018. С. 45–49.
9. Новокрещенов О.В., Отмахов Г.С., Хуаде М.Ю. Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 786–797. DOI: 10.21515/1990-4665-132-063

10. Новая элементная база возобновляемых источников электроэнергии: моногр. / О.В. Григораш, А.Ю. Попов, Е.В. Воробьев и др. Краснодар: КубГАУ, 2018. 202 с.
11. Соломин Е.В. Экономические аспекты гибридных ветро-солнечных установок малой мощности // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2012. № 2 (106). С. 71–77.
12. Korasiak P. Sprawność konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną współczesnych ogniw i modułów fotowoltaicznych // Przegląd Elektrotechniczny. 2017. Nr 7. S. 122–127. DOI: 10.15199/48.2017.07.27
13. Technical data sheet Uni-Solar. URL: http://www.uni-solar.com/wp-content/uploads/2011/11/PB_ePVL_Technical_Data_Sheet_EN_-AA6-3624-04.pdf.
14. Man-Portable Solar Solutions. URL: <https://www.powerfilmsolar.com/markets/government-dod-solutions/man-portable>.
15. Modelling and Optimising the Value of a Hybrid Solar-Wind System / A. Nair, K. Murali, S.P. Anbuudayasankar, C.V. Arjunan // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 197 (1). P. 012035. DOI: 10.1088/1757-899X/197/1/012035
16. Zastosowanie polikrystalicznych ogniw krzemowych jako elastycznych pokryć fotowoltaicznych / S. Maleczek, M. Szczepaniak, W. Malicki, K. Drabczyk // Napędy i Sterowanie. 2019. Nr 21. P. 103–108.
17. Obaidah M.A., Soroni F., Khan M.M. Development of a Hybrid Power Generation System // 2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON). New York, NY, USA, 2021. P. 0717–0722. DOI: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666682
18. McCulley J.K. Mobile Elemental Power Plant (MEPP): MEPP // 2013 1st IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech). Portland, OR, USA, 2013. P. 109–113. DOI: 10.1109/SusTech.2013.6617306
19. Kaabeche A., Ibtien R. Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system // Solar Energy. 2014. Vol. 103. P. 171–182. DOI: 10.1016/j.solener.2014.02.017
20. Rehman Z., Al-Bahadly I., Mukhopadhyay S.C. Multiinput DC–DC converters in renewable energy applications – An overview // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 41. P. 521–539. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.033

References

1. *Shkola potrebiteley generatorov* [The school of generator consumers]. (In Russ.) Available at: <https://skatpower.ru/school-of-consumer>.
2. *Energeticheskaya strategiya RF na period do 2035 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 1523-r of 09.06.2020 g.* [Energy strategy of the Russian Federation for the period up to 2035. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1523-r of 09.06.2020]. (In Russ.)
3. *Mobil'nye vetro-solnechnye gibridnye elektrostantsii moshchnost'yu ot 3 do 12 kVt s rezervnym DGU* [Mobile wind-solar hybrid power plants with a capacity from 3 to 12 kW with a backup DSU]. (In Russ.) Available at: <http://cs3.a5.ru/media/45/7a/25/457a25dde268a7b2bd02395659a3386f.pdf>.
4. Mobile hybrid wind and solar power plant. Available at: <https://mobismart.ca/mobisun-mobile-solar-generators>.
5. Grigorash O.V., Krivoshey A.A., Smyk V.V. Autonomous hybrid power plants. *Polythematic network electronic scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*. 2016;124:1441–1452. DOI: 10.21515/1990-4665-124-095
6. Kashin A.Y., Kopelevich L.E., Samorodov A.V., Kim V.A., Artenian K.Z. Wind-solar generator and its characteristics. *Electronic network polythematic journal “Scientific Works of the Kuban State Technological University”*. 2019;6:201–214. (In Russ.)
7. Nikitenko G.V., Konoplyov E.V., Lysakov A.A. et al. Wind-solar autonomous power supply system. *Selskiy Mechanizator*. 2018;4:28–29. (In Russ.)
8. Yudaev I.V., Daus Yu.V. [Solar electric power industry of the South of Russia: existing potential, operated facilities, development prospects]. In: *Alternative energy in the regions of Russia “AER-2018”*. 2018. P. 45–49. (In Russ.)
9. Novokreshchenov O.V., Otmakhov G.S., Huade M.Yu. Combined systems of electricity supply based on renewable energy sources. *Polythematic network electronic scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*. 2017;132:786–797. (In Russ.) DOI: 10.21515/1990-4665-132-063
10. Grigorash O.V., Popov A.Y., Vorobyev E.V. *Novaya elementnaya baza vozobnovlyаемых istochnikov elektroenergii: monografiya* [New element base of renewable electricity sources: monograph]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2018. P. 202. (In Russ.)
11. Solomin E.V. Economical aspects of hybrid wind-solar small power units. *International scientific journal for Alternative energy and ecology*. 2012;2(106):71–77. (In Russ.)
12. Korasiak P. Sprawność konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną współczesnych ogniw i modułów fotowoltaicznych. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2017;7:122–127. DOI: 10.15199/48.2017.07.27

13. Technical data sheet Uni-Solar. Available at: http://www.uni-solar.com/wp-content/uploads/2011/11/PB_ePVL_Technical_Data_Sheet_EN_AA6-3624-04.pdf.

14. Man-Portable Solar Solutions. Available at: <https://www.powerfilmsolar.com/markets/government-dod-solutions/man-portable>.

15. Nair A., Murali K., Anbuudayasankar S.P., Arjunan C.V. Modelling and Optimising the Value of a Hybrid Solar-Wind System. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2017;197(1):012035. DOI: 10.1088/1757-899X/197/1/012035

16. Maleczek S., Szczepaniak M., Malicki W., Drabczyk K. Zastosowanie polikrystalicznych ogniw krzemowych jako elastycznych pokryw fotowoltaicznych. *Napędy i Sterowanie*. 2019;21:103–108.

17. Obaidah M.A., Soroni F., Khan M.M. Development of a Hybrid Power Generation System. In: *2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*. New York, NY, USA; 2021. P. 0717–0722. DOI: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666682

18. McCulley J.K. Mobile Elemental Power Plant (MEPP): MEPP. In: *2013 1st IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*. Portland, OR, USA; 2013. P. 109–113. DOI: 10.1109/SusTech.2013.6617306

19. Kaabeche A., Ibtuen R. Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system. *Solar Energy*. 2014;103:171–182. DOI: 10.1016/j.solener.2014.02.017

20. Rehman Z., Al-Bahadly I., Mukhopadhyay S.C. Multiinput DC–DC converters in renewable energy applications – An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;41:521–539. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.033

Информация об авторах

Григораш Олег Владимирович, д-р пед. наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия; grigorasch61@mail.ru.

Денисенко Евгений Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия; denisenko_88@mail.ru.

Грищенко Дмитрий Николаевич, аспирант, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия; professs0r@yandex.ru.

Барышев Петр Михайлович, магистрант, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия; petiabaryshev@mail.ru.

Information about the authors

Oleg V. Grigorash, Dr. Sci. (Education), Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Renewable Energy, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia; grigorasch61@mail.ru.

Evgeny A. Denisenko, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Renewable Energy, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia; denisenko_88@mail.ru.

Dmitry N. Grishchenko, Postgraduate Student, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia; professs0r@yandex.ru.

Petr M. Baryshev, Master's Student, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia; petiabaryshev@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 02.02.2023; одобрена после рецензирования 21.02.2023; принята к публикации 21.02.2023.

The article was submitted 02.02.2023; approved after review 21.02.2023; accepted for publication 21.02.2023.