

Морозов Владимир Васильевич

Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им.

А.К.Серова

преподаватель кафедры физики и электротехники

Колесниченко Максим Андреевич

Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им.

А.К.Серова курсант

Худояров Илья Александрович

Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К.

Серова курсант

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. В статье представлен анализ современных ветро-солнечных генераторных установок аксиального типа, предложен комплекс технических решений по модернизации, оптимизации систем охлаждения, применения современных материалов и совершенствования аэродинамики, позволяющие модернизировать комбинированную генераторную установку.

Ключевые слова: гибридная энергоустановка, возобновляемые источники энергии, аксиальный генератор, фотоэлектрические преобразователи, модернизация, энергоэффективность.

Проблема модернизации и повышения стабильности энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является одной из

ключевых задач в современной энергетике [1]. Перспективным решением выступают гибридные системы, комбинирующие несколько видов ВИЭ, что позволяет компенсировать непостоянность каждого источника в отдельности [7]. Целью данной статьи является анализ конструкции уже созданной ветро-солнечных генераторной установки (ВСГУ) аксиального типа [2, 3] и разработка на ее основе научно обоснованной программы по глубокой модернизации для существенного повышения интегрального коэффициента использования установленной мощности. В рамках работы проверялась гипотеза о том, что одновременная модернизация механической, электрической и тепловой подсистем ВСГУ будет превосходить результат точечных улучшений. Исследование проведено на основе анализа патентной и научно-технической литературы с использованием данных о современных материалах и технологиях.

В ходе проведения глубокого анализа существующих конструкций был обнаружен потенциал для модернизации, так как современные комбинированные установки, такие как аксиальный трехвходовый бесконтактный генератор [2], интегрируют кинетическую энергию ветра и солнечную энергию. Конструкция вертикально-осевой установки [3] с многоярусными направляющими воздушного потока, несущими фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), представляет собой шаг для увеличения компактности. Однако анализ данных решений, а также других разработок [4, 5], подкрепленный математическим моделированием переходных процессов [6], выявил ряд ограничений: имеется зависимость выработки от погодных условий, существенная потеря КПД из-за перегрева, ограниченный коэффициент использования ветрового потока и технологические ограничения, связанные с применением устаревших материалов.

Рассмотрим современный известный аксиальный трехвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор [2] (рис.1). Для улучшения показателей ВСГУ необходимо добавление гидроэнергетического модуля,

являющимся третьим входом энергии. Расширив функциональность установки до системы ветер-солнце-вода возможно многократное повышение энергетической автономности. Реализация данного направления, обозначенного в [3], требует конкретного инженерного решения. Установка микротурбины ковшового типа (турбина Пелтона) или же компактного водяного колеса с насадками [8] в вал (34) или нижнюю часть корпуса (1) сможет обес-

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

печить дополнительную мощность. Для малых рек с напором 1-5 м и расходом 0.05-0.3 м³/с такая турбина может дать прирост мощности от 200 Вт до 2 кВт [9]. При размещении установки на понтоне или у устойчивого водного объекта возможно применение вертикальной пропеллерной микрогенераторной насадки. Данное решение позволит вырабатывать энергию в безветренную погоду. Это позволит использовать установку для электроснабжения прибрежных метеостанций, полевых лагерей и других быстровозводимых объектов, повышая совокупный годовой энергетический выход, по возможным оценкам, на 25-40% в соответствующих локациях [10].

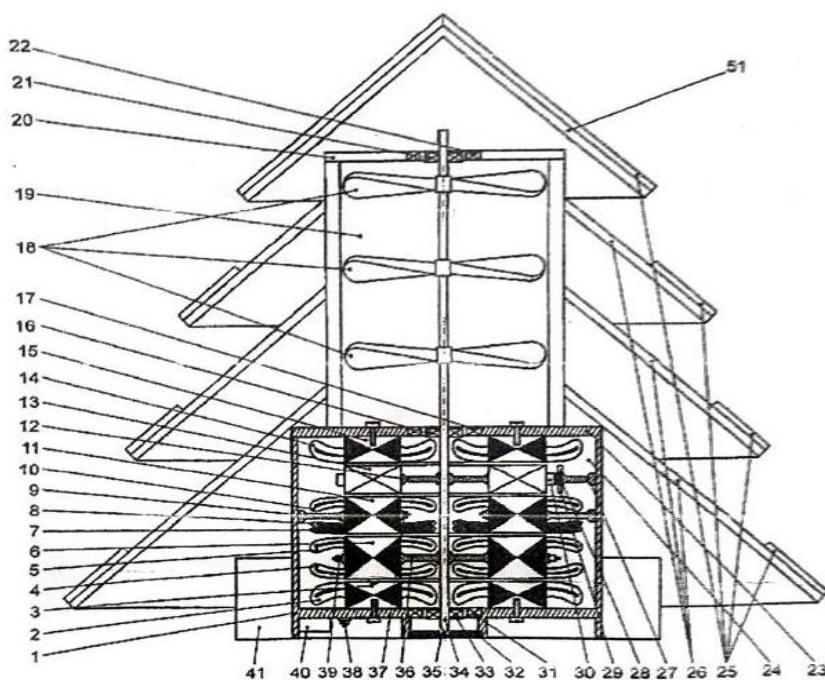


Рисунок 1 – Общий вид вертикально-осевой трехходовой аксиальной генераторной установки

Рассматриваемая ВСГУ также нуждается в комплексной оптимизации теплового режима. Перегрев ФЭП (25) выше 45°C приводит к снижению их КПД на 0.4-0.5% на каждый градус [11]. Нагрев обмоток также снижает КПД генератора и срок его службы. Для прекращения данных потерь возможно внедрение двухконтурной системы терморегулирования, сочетающей пассивные и активные методы.

В качестве пассивного метода, изготовление основного корпуса (1) и элементов крепления ФЭП из литого под давлением алюминиевого сплава (такого как АК12), или аналога, с теплопроводностью $\lambda \approx 160\text{--}180 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ и хорошими литейными свойствами. В конструкции корпуса должны быть предусмотрены развитые ребра охлаждения на внутренней и наружной поверхностях. Использование ребер позволит увеличить площадь теплообмена с окружающей средой в 2-3 раза. Данный контур не потребует энергозатрат и будет работать бесперебойно.

Активным методом может являться система принудительного перераспределения тепла на тепловых трубках для наиболее термонагруженных зон, где недостаточно пассивного отвода, например, область крепления панелей, близко расположенных к блоку управления (40). Зоны испарения тепловых трубок жестко крепятся к тыльной стороне ФЭП в местах проекции наиболее нагретых элементов. Зоны конденсации монтируются внутри усиленных ребер корпуса-радиатора.

Данная система обеспечивает быстрое и эффективное перераспределение тепла без затрат энергии, что позволяет снизить рабочую температуру ФЭП на 15-20°C, потенциально повышая их эффективность на 7-10% в пиковые солнечные часы [12], а также предотвращает образование локальных «горячих точек», которые вредны для долговечности.

Стоит отметить необходимость аэродинамического совершенствования ветромодуля.

Установка имеет относительно низкий коэффициент использования энергии ветра (КИВЭ) вертикально-осевых турбин (составляющий 0.25-0.35).

Предлагается установка конфузорного воздуховода вокруг ветроколес (18).

Расчеты и эксперименты показывают, что сужающийся канал

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

с коэффициентом сужения 1.6-1.8 [13] позволяет увеличить скорость воздушного потока на входе в зону лопастей на 30-50%. Для минимизации веса и коррозии конфузор необходимо изготавливать из легких композитных материалов (стеклокомпозит или углепластик). Конструкция может быть секционной для облегчения транспортировки.

Используемые в ВСУ материалы устарели и необходимо применение перспективных, которые смогут дать больше потенциала.

Для магнитной системы возможна замена ферритовых магнитов (2, 13) на спеченные магниты NdFeB (неодим-железо-бор). Это позволит при тех же габаритах магнитной системы увеличить магнитную индукцию в зазоре на 30-50%. Это напрямую повысит мощность и КПД генератора и значительно уменьшить его массу [14].

Изготовление лопастей ветроколес (18) и элементов направляющих (26) из углепластика (например, на основе эпоксидной смолы и углеродного волокна) поможет уменьшить массу вращающихся частей на 60-70% по сравнению с тяжелым алюминиевым аналогом. Таким образом уменьшится момент инерции и увеличится пороговая скорость старта турбины (до 1.5-2 м/с). В результате также повысится ресурс работы за счет коррозионной стойкости и усталостной прочности [15].

Применение утилизации тепловой энергии, позволит расширить функцию теплового преобразователя (41). Интегрировав его в систему сбора низкопотенциального тепла (30-70°C) от корпуса, силовой электроники и обмоток. Собранное тепло может направляться на:

1. Предварительный подогрев теплоносителя для бытовых нужд (горячая вода, обогрев).

2. Питание низкотемпературного модуля Стирлинга, подключив через редуктор к дополнительному мини-генератору. КПД такого преобразования будет невелик (5-8%), но позволит использовать не затраченную энергию [16]. Это превратит установку из просто гибридного генератора в комбинированную систему производства электроэнергии и тепла.

Анализ представленной установки и материалов из открытых источников позволяет разработать комплекс необходимых технических решений по глубокой модернизации ветро-солнечной генераторной установки. Ключевыми инновационными направлениями на текущий момент являются: создание тригенераторной архитектуры на основе микро-ГЭС; внедрение пассивно-активной системы охлаждения с тепловыми трубками; аэродинамическое форсирование ветротурбины с помощью конфузора; применение высокоэнергетических магнитов NdFeB и композитных материалов для компонентов; организация контура утилизации бросового тепла. Синергетический эффект от их совместной реализации, согласно экспертным оценкам и аналогиям [10, 12, 13], может повысить энерговыход установки на 50-80% и значительно расширить диапазон ее эффективного применения. Перспективой дальнейших исследований является детальное 3D-моделирование конструкции, оптимизация алгоритмов управления мультисистемой и создание опытно-промышленного образца для натурных испытаний в различных климатических условиях.

Список литературы:

1. Лукутин Б.В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учеб. пособие / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015.

2. Патент РФ № 2736200 RU. Аксиальный трехходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, И.Б. Самородов // Оpubл. 12.11.2020 г. Бюл. № 32.

3. Патент РФ № 2748225 RU. Вертикально-осевая трёхходовая аксиальная генераторная установка / Я.М. Кашин, А.С. Князев // Оpubл. 21.05.2021 г. Бюл. № 15.

4. Патент РФ № 2688925 RU. Стабилизированный вентильный аксиально-конический ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Оpubл. 23.05.2019 г. Бюл. № 15.

5. Патент 2636387 RU. 30.01.2017. Аксиальный трехходовый ветро-солнечный генератор / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.А. Яковенко // Оpubл. 23.11.2017. Бюл. № 33.

6. Разработка математической модели электромагнитных и электромеханических переходных процессов в аксиальных многофазных генераторных установках / Б.Х. Гайтов,

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.Я. Кашин, А.А. Голованов, М.Л. Копелевич // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 76. – С. 473–483.

7. Казаков Ю.Б. Гибридные энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии / Ю.Б. Казаков, А.В. Филатов // Альтернативная энергетика и экология. – 2019. – № 10-12. – С. 44-58.

8. Сингх П. Микрогидроэнергетика: практическое решение для энергетических потребностей сельских районов / П. Сингх. – 2020. – С. 90-102.

9. Уильямсон С.Дж. Оценка производительности пико-гидротурбин для удаленных сообществ / С.Дж. Уильямсон, Б. Старк, Дж.Д. Букер /– 2021. – С. 1054-1066.

10. Харэ В. Оптимизация производительности гибридной солнечно-ветро-гидроэнергетической системы / В. Харэ, К.Н. Бхенде /– 2022. – С. 3084-3097.

11. Скоплаки Э. О температурной зависимости электрических характеристик фотоэлектрических модулей: обзор корреляций эффективность/мощность / Э. Скоплаки, Дж.А. Паливос /– 2009. – С. 614-624.
12. Ву С.У. Системы терморегулирования на основе тепловых трубок для охлаждения фотоэлектрических панелей и термоэлектрических генераторов / С.У. Ву, Л. Сяо /– 2017. – С. 1293-1304.
13. Снодин Х. Влияние диффузорного усиления на производительность небольшой вертикально-осевой ветровой турбины / Х. Снодин, Р. Хауэлл / – 2018. – С. 304-319.
14. Коей Дж.М.Д. Постоянные магниты: заполняя пробел / Дж.М.Д. Коей / – 2012. – С. 524-529.
15. Мишнаевский Л. Материалы для лопастей ветряных турбин: Обзор / Л. Мишнаевский и др. /– 2017. – С. 1285.
16. Тхомбаре Д.Г. Технологическое развитие двигателей цикла Стирлинга / Д.Г. Тхомбаре, С.К. Верма / – 2008. – С. 1-38.)