

А.В. МАХИЯНОВ, ассистент (УГНТУ)
К.А. ОВСЯНИКОВ, бакалавр гр. БАЭ-22-01 (УГНТУ)
г. Уфа

ИНТЕГРАЦИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ВОЛНОВЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Аннотация. Современная энергетика активно развивается в направлении использования возобновляемых источников, среди которых существенное место занимает волновая энергетика благодаря огромному энергетическому потенциалу морских волн. Однако переменчивость условий среды и высокая динамичность нагрузки создают сложности в обеспечении надежного электроснабжения. При этом технологии, успешно применяемые в ветроэнергетике – одной из наиболее прогрессирующих областей ВИЭ, – могут быть адаптированы и эффективно применены в волновой энергетике. В частности, методики стабилизации выходных параметров, системы управления и автоматизации электроприводами, а также подходы к повышению надежности электроснабжения являются общими для обеих отраслей. Это открывает перспективы для ускоренного развития волновой энергетики с использованием уже проверенных решений из ветроэнергетики.

Ключевые слова: волновая энергетика, надежность электроснабжения, переменные условия среды, системы стабилизации напряжения, частота, морские волновые электростанции, возобновляемые источники энергии, энергосистемы, устойчивость, электроснабжение. Эксперимент проводился на лабораторной установке (рисунок 1), включающей вентилятор, имитирующий поток воздуха, макет ветряной турбины и датчики, измеряющие электрические параметры.

Волновая энергетика – одно из наиболее перспективных направлений возобновляемой энергетики, использующее энергию морских волн [1, 2]. Несмотря на значительный потенциал, данный сектор сталкивается с проблемами, связанными с переменной и интенсивной природной средой, что усложняет стабильное и надежное электроснабжение [3]. Анализ надежности таких систем становится одним из ключевых аспектов для успешной эксплуатации и интеграции в общую энергосистему [4].

При этом опыт и технологии ветроэнергетики оказывают существенную помощь в решении перечисленных задач. Многие методы стабилизации выходных параметров, адаптивного управления электроприводами и цифровой автоматизации, разработанные для ветряных установок, приме-

Важным элементом являются системы стабилизации напряжения и частоты, обеспечивающие высокое качество электроэнергии при нестабильных входных условиях. Современные силовые преобразователи, системы управления и цифровые контроллеры, успешно применяемые в ветроэнергетике, могут быть эффективно адаптированы для волновых электростанций. Кроме того, опыт ветроэнергетики в вопросах интеграции и управления гибридными энергосистемами – с использованием аккумуляторов и других возобновляемых источников – может быть перенесен на волновые энергокомплексы [8].

Внедрение двухгенераторных систем в волновые энергетические установки значительно повышает качество генерируемой электроэнергии (рисунок 1.) [9]. Этот подход, основанный на интеграции двух источников энергии, оптимизирует процессы преобразования и стабилизации выходного сигнала. Применение двухгенераторных установок позволяет минимизировать колебания мощности, обусловленные динамикой волновых потоков, и обеспечивает более стабильное и качественное энергоснабжение [10]. Кроме того, данная конфигурация способствует повышению общей эффективности системы за счет оптимального распределения нагрузки

между генераторами [11]. В результате достигается значительное улучшение характеристик электроэнергии, что делает волновые энергетические комплексы более конкурентоспособными и надежными в условиях эксплуатации [12].

Таким образом, комбинирование уникальных характеристик волновой энергетики с проверенными технологиями ветроэнергетики создаёт перспективную основу для развития эффективных, надежных и устойчивых систем возобновляемой энергетики морского базирования. Такой подход способствует снижению рисков, увеличению стабильности энергоснабжения и расширяет возможности масштабирования новой энергетики.

Список литературы:

1. Махиянов, А. В. Волновая энергетическая установка на основе магнитоэлектрического генератора / А. В. Махиянов // Энергетика и энергосбережение: теория и практика : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Кемерово, 07–09 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 421-1-421-3.
2. Махиянов, А. В. Волновая энергетическая установка на основе электрогенератора / А. В. Махиянов // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов, Тюмень, 21–23 декабря 2020 года. Том II. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 205-207.
3. Ушаков, В. Я. Возобновляемая и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды / В. Я. Ушаков. – Томск : СибГрафик, 2011. – 138 с.
4. Торшин, В. В. Альтернативная энергетика: прошлое, настоящее, будущее / В. В. Торшин, Ф. Ф. Пащенко, Л. Е. Круковский ; Торшин В. В., Пащенко Ф. Ф., Круковский Л. Е.. – Москва : Белый берег, 2009. – 261 с. – ISBN 978-5-98353-029-4.
5. Саттаров, Р. Р. Моделирование ветроустановки на базе двух пятифазных магнитоэлектрических генераторов со стабилизацией напряжения при изменяющейся скорости ветра / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 16-25. – DOI 10.17122/1999-5458-2025-21-1-16-25.
6. Sattarov, R. Twin-Generator Reconfigurable Set for Wind Power Plant / R. Sattarov, A. Makhianov // Proceedings 2023 Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Prac-

tice (PEAMI), Magnitogorsk, 29 сентября – 01 2023 года. – Magnitogorsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. – Р. 145-149.

7. Саттаров, Р. Р. Упрощенная компьютерная модель ветроэнергетической системы на основе двух магнитоэлектрических генераторов с реконфигурируемыми обмотками / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 45-54. – DOI 10.17122/1999-5458-2024-20-1-45-54.

8. Патент на полезную модель № 219734 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/00. Ветроэнергетическое двухгенераторное устройство для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей : № 2023105593 : заявл. 09.03.2023 : опубл. 02.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, А. А. Евдокимов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

9. Патент на полезную модель № 212697 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02P 9/00. Ветроэнергетическая двухгенераторная установка : № 2022104815 : заявл. 22.02.2022 : опубл. 03.08.2022 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. Р. Саттаров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

10. Патент на полезную модель № 217709 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/00. Ветроэнергетическая установка с девятифазным генератором : № 2023102807 : заявл. 07.02.2023 : опубл. 13.04.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

11. Саттаров, Р. Р. Компьютерное моделирование ветроустановки на основе двух синхронных генераторов с постоянными магнитами / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, С. О. Миниахметова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2024. – Т. 20, № 3. – С. 28-37. – DOI 10.17122/1999-5458-2024-20-3-28-37.

12. Патент № 2168062 C1 Российская Федерация, МПК F03D 9/00. ветрогенератор : № 99125638/06 : заявл. 07.12.1999 : опубл. 27.05.2001 / Д. А. Ивашинов, А. М. Рыжов, М. В. Кузнецов [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева".

Информация об авторах:

Махиянов Артур Валерьевич, ассистент кафедры ЭЭП, УГНТУ, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, artur.makhiyanov.sems510@mail.ru

Овсяников Константин Андреевич, бакалавр гр. БАЭ-22-01, УГНТУ, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, kostiaovsan0301@gmail.com