

А.В. МАХИЯНОВ, ассистент кафедры ЭЭП (УГНТУ)  
Научный руководитель Р.Р. САТТАРОВ, проф., д.т.н., доцент (УГНТУ)  
г. Уфа

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к применению энергоэффективных магнитоэлектрических генераторов в ветроэнергетических установках. Описаны конструктивные особенности, принципы работы и преимущества магнитоэлектрических генераторов с бифилярной обмоткой, а также их интеграция в двухгенераторные и многофазные ветроэнергетические системы. Приведён анализ патентных и экспериментальных решений, позволяющих повысить стабильность и эффективность выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей. Особое внимание уделено вопросам автоматизации, интеллектуального управления и экологической безопасности ветроэнергетических комплексов нового поколения.

**Ключевые слова:** магнитоэлектрический генератор, ветроэнергетическая установка, бифилярная обмотка, двухгенераторная система, многофазный генератор, энергоэффективность, автоматизация, интеллектуальное управление, возобновляемые источники энергии.

Развитие ветроэнергетики как одного из ключевых направлений возобновляемой энергетики требует постоянного поиска инновационных технических решений, способных повысить эффективность преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию. Одним из перспективных направлений является внедрение магнитоэлектрических генераторов, обладающих высокой энергоэффективностью и способных работать в широком диапазоне ветровых скоростей. Конструктивные особенности таких генераторов, в частности применение бифилярной обмотки, позволяют существенно снизить потери энергии и повысить стабильность выходных параметров, что подтверждается патентными исследованиями и экспериментальными данными (рисунок 1)[1, 2].

Магнитоэлектрические генераторы с бифилярной обмоткой отличаются высокой степенью электромагнитной совместимости, минимизацией пульсаций напряжения и возможностью интеграции в многофазные системы. Это особенно актуально для современных ветроэнергетических установок, где требуется обеспечение стабильной работы при изменяющихся ветровых условиях. Внедрение двухгенераторных схем позволяет расширить диапазон рабочих скоростей ветра, обеспечивая эффективную выработку электроэнергии как при низких, так и при высоких скоростях воздушных потоков [3, 6]. При последовательном соединении генераторов достигается необходимое напряжение для зарядки аккумуляторных батарей, а при параллельном - увеличивается ток и мощность, что предотвращает перенапряжения и повышает безопасность эксплуатации [3].

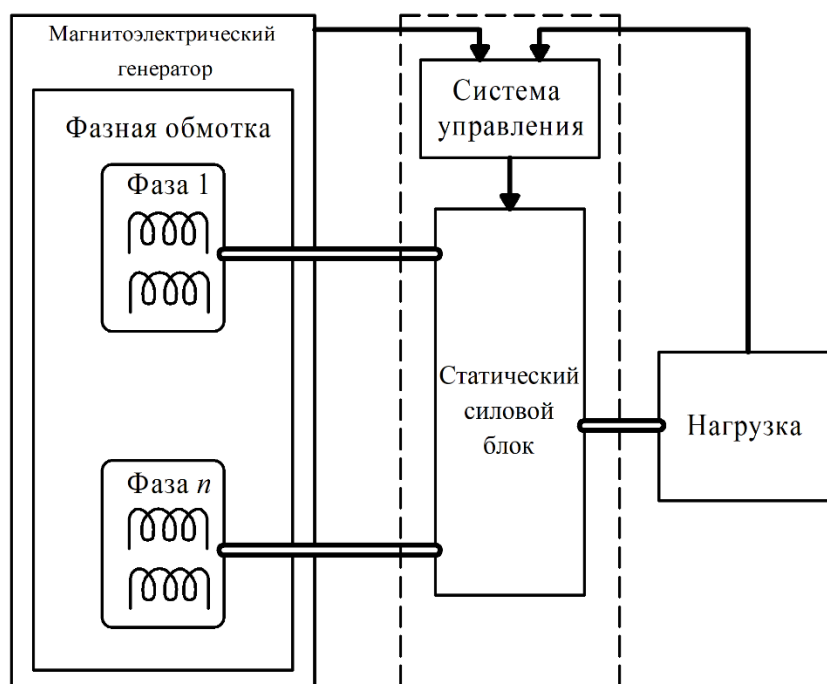


Рис. 1. Структурная схема магнитоэлектрического генератора с бифилярной обмоткой с системой стабилизации напряжения [2]

Особое внимание в современных разработках уделяется автоматизации и интеллектуальному управлению ветроэнергетическими комплексами [3, 6]. Системы управления включают коммутирующие устройства, преобразователи, измерители напряжения и формирователи сигналов, что позволяет в реальном времени адаптировать режим работы генераторов к текущим ветровым условиям. Такой подход обеспечивает максимальную энергетическую

отдачу и минимизирует потери, а также способствует повышению надёжности и долговечности оборудования.

Многофазные магнитоэлектрические генераторы, например девятифазные, позволяют добиться практически синусоидальной формы выходного напряжения, что существенно снижает влияние высших гармоник на работу потребителей и повышает качество электроэнергии [4]. Применение таких генераторов в горизонтально-турбинных ветроустановках открывает новые возможности для повышения эффективности и экологической безопасности ветроэнергетических систем.

Экологические преимущества энергоэффективных магнитоэлектрических генераторов проявляются в снижении выбросов загрязняющих веществ, минимальном шумовом воздействии и возможности размещения установок в районах с оптимальными ветровыми условиями независимо от рельефа местности [5]. Экономическая эффективность достигается за счёт снижения капитальных затрат, мобильности оборудования и увеличения выработки электроэнергии благодаря использованию более интенсивных ветровых потоков на высотах [6].

Таким образом, применение энергоэффективных магнитоэлектрических генераторов в ветроэнергетических установках способствует созданию устойчивых, экологически чистых и экономически выгодных энергетических систем. Дальнейшие исследования и разработки в данной области направлены на совершенствование конструкций генераторов, оптимизацию алгоритмов управления и расширение географии применения ветроэнергетических технологий.

#### Список литературы:

1. Патент № 2168062 С1 Российская Федерация, МПК F03D 9/00. ветрогенератор : № 99125638/06 : заявл. 07.12.1999 : опубл. 27.05.2001 / Д. А. Ивашинцов, А. М. Рыжов, М. В. Кузнецов [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева».

2. Патент на полезную модель № 216073 U1 Российская Федерация, МПК H02K 21/12. Магнитоэлектрический генератор с бифилярной обмоткой : № 2022118402 : заявл. 02.11.2021 : опубл. 16.01.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, Т. Р. Зиганшин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

3. 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 & Practice (PEAMI), Magnitogorsk, 29 сентября – 01 2023 года. – Magnitogorsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. – P. 145-149.

4. Патент на полезную модель № 228169 U1 Российская Федерация, МПК F03D 9/25, F03D 7/06, F03D 3/06. Горизонтально-турбинный девятифазный ветрогенератор : № 2024107865 : заявл. 26.03.2024 : опубл. 16.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, Д. Н. Крылов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

5. Патент на полезную модель № 227868 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/10, F03D 9/30. Аэростатно-ветроэнергетическое устройство : № 2024104806 : заявл. 26.02.2024 : опубл. 07.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "«Уфимский государственный нефтяной технический университет».

6. 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».

Информация об авторах:

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