

## **ОБЗОР СИСТЕМ АВАРИЙНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ВЭУ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА КОЛИЧЕСТВО АВАРИЙ ВЭУ**

*Е.А. Сироткин*

Сделан обзор существующих систем аварийного торможения ветроэнергетических установок, приведены их отличия от систем управления и систем регулирования ВЭУ. Выявлено три основных типа систем аварийного торможения ВЭУ. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Рассмотрены статистические данные по авариям на ветроэнергетических установках.

Ключевые слова: ветроэнергетика, системы аварийного торможения, аварийность ВЭУ.

Ветроэнергетическая промышленность имеет весьма широкий набор различных систем, отвечающих за стабильность работы ВЭУ и предотвращение аварийных ситуаций. Однако следует различать системы управления мощностью ветроэнергетическими установками, системы регулирования и системы торможения, т.к. у каждого вида систем имеется своя конкретная и узконаправленная задача или задачи.

К системам управления мощностью относятся, как правило, системы, которые позволяют осуществлять мониторинг, анализ текущего состояния ветроагрегата и в зависимости от заданной программы влиять на работу ВЭУ, в том числе и затормаживать ее. Но важным нюансом здесь является то, что системы управления мощностью ВЭУ не рассчитаны на аварийные ситуации, когда случается отказ каких-либо элементов самой системы управления и ветроагрегата в целом [1]. Таким образом, такие системы не устанавливаются на ВЭУ как единственные, а дополняются устройствами или другими системами, отчасти дублирующими функционал основной системы управления.

Системы регулирования ВЭУ преимущественно включают в себя комплекс устройств, удерживающих или ограничивающих основные рабочие характеристики ветроустановки в допустимых диапазонах [2]. Как правило, в таких системах регулируемым параметром является частота вращения ротора ВЭУ.

Системы аварийного торможения в большинстве своем устанавливаются на ветроустановки в дополнение к основной системе управления или системе регулирования ВЭУ. Основной задачей аварийной системы торможения в данном случае будет предотвращение бесконтрольной работы ВЭУ и предотвращение возможных аварийных последствий в случае отказа основной системы управления или каких-либо других компонентов ветроагрегата. В данной работе внимание будет уделено именно системам аварийного торможения ВЭУ. Автором был проведен поиск и анализ существующих систем и способов аварийного торможения ВЭУ среди отечественных и зарубежных разработок, в результате чего были определены три основных типа аварийных систем торможения ВЭУ.

#### 1. Колодочные тормозные системы

Данный тип аварийных систем торможения является самым распространенным среди остальных. По своему устройству указанный тип тормозов очень схож с автомобильными дисковыми тормозами. На валу ветроколеса устанавливается тормозной диск, и по бокам диска располагаются тормозные колодки [3]. При необходимости торможения колодки сжимают тормозной диск, и начинается процесс торможения. Колодочные тормозные системы могут иметь два типа приводов: электрический и гидравлический.

Системы с электрическим приводом могут иметь редуктор либо иные механические передачи, преобразующие вращательное движение в поступательное.

##### Преимущества:

– данный тип тормозных устройств обладает высокой надежностью, поскольку конструкция во многом заимствована из автомобильной промышленности, где прошла многолетнюю отработку;

– колодочные тормозные системы ВЭУ позволяют обеспечивать высокие тормозные моменты за счет того, что тормозные диски могут масштабироваться до необходимых размеров, тем самым создавая большее плечо для приложения тормозного момента;

– колодочные тормоза способны работать даже при высоких температурах [4] – это позволяет им поглощать большое количество избыточной мощности на ветроколесе без ущерба для конструкции.

##### Недостатки:

– их значительные габаритные размеры и невозможность компактного расположения внутри конструкции ВЭУ, что делает применимыми их только на крупных ВЭУ, которые имеют вместительные гондолы;

– высокое энергопотребление тормозной системы, т.к. в течение всего времени торможения система тратит электроэнергию на удержание колодок в сжатом состоянии;

– в случае, если у данного типа тормозов привод является гидравлическим, то конструкция значительно усложняется из-за добавления в ее состав гидростанции [5, 6].

## 2. Замыкание обмоток электрического генератора ВЭУ

Аварийное торможение ветроколеса возможно в некоторых случаях путем замыкания обмоток электрического генератора ВЭУ. Причем замкнуть обмотки генератора может как система управления, так и оператор ветроустановки. Но стоит различать данный метод аварийного торможения ветроколеса с методом регулирования частоты вращения ротора путем замыкания обмоток генератора с использованием широтно-импульсной модуляции [7]. В последнем случае осуществляется притормаживание ветроколеса, а процесс полного торможения может занять продолжительное время (зависит от ветровых условий, в которых работает ВЭУ).

Преимущества:

- при замыкании обмоток генератора торможение ветроколеса происходит очень быстро, после чего оно остается в заторможенном состоянии;
- для замыкания обмоток генератора достаточно небольшого количества электроэнергии для переключения контактов реле в случае, если данную операцию выполняет автоматика. Для выполнения данной операции человеку достаточно только переключить тумблер, что тоже требует малого количества времени и сил.

Недостатки:

- резкое торможение ротора на большой частоте вращения может привести к деформации или разрушению его механической конструкции;
- в процессе торможения на обмотках генератора выделяется большое количество тепла за малый промежуток времени, что может привести к оплавлению или возгоранию обмоток;
- затормозить ветроколесо данным способом невозможно, если электрический генератор перегрет либо возникло нарушение целостности кабеля электрического генератора, идущего к системе управления.

## 3. Комбинированное торможение ВЭУ

Комбинированный способ остановки ветроколеса может включать в себя несколько процедур: аэродинамическое торможение, механическое торможение, торможение генератором. Данный способ, как правило, применяется на крупных ВЭУ, когда необходимо остановить ветроколесо настолько быстро, насколько это возможно, не причиняя при этом ущерба конструкции.

Преимущества:

- процесс торможения ветроколеса может занимать незначительное по продолжительности время по сравнению с остальными способами за счет использования двух или более механизмов торможения.

Недостатки:

- низкая надежность данного способа, т.к. при торможении используются штатные элементы и узлы ВЭУ, которые при аварийной ситуации могут работать некорректно либо быть выведены из строя.

Чтобы оценить необходимость использования аварийных систем торможения ВЭУ, необходимо рассмотреть количество аварийных случаев, произошедших при эксплуатации ветроэнергетического оборудования.

При поиске статических данных по авариям ветроэнергетических установок использовались отчетные данные энергетических ведомств различных государств и политических союзов [8], результаты испытаний и эксплуатации ветроустановок конкретных промышленных предприятий [9], обзор профильных ведомств, осуществляющих сбор и аналитику данных по ветроэнергетике [10], а также использовалась информация, предоставленная различными государственными и международными ассоциациями в области возобновляемой энергетики и ветроэнергетики в частности [11].

Стоит отметить, что регулярные статистические и отчетные данные по эксплуатации ветроэнергетического оборудования можно найти, начиная с конца 80-х годов прошлого столетия. Кроме того, при анализе данной информации следует учитывать, что в статистические данные попадают аварийные случаи, преимущественно произошедшие на коммерческих или государственных объектах. Учет проблем эксплуатации ветроустановок частными потребителями весьма сложен, т.к. не существует механизма сбора таких данных. Из этого можно сделать предположение, что приведенные ниже цифровые показатели аварийных случаев на ветроэнергетических объектах являются несколько заниженными и не учитывают в достаточной мере опыта эксплуатации малых ветроэнергетических установок частными потребителями.

По проанализированным данным всего с 1989 по 2017 годы произошло 797822 аварийных случая при эксплуатации ВЭУ. При этом количество аварий по всему миру увеличивается с каждым годом. В 2017 году было достигнуто наибольшее количество аварийных ситуаций – 64924. Однако следует отметить, что с 2011 года количество аварийных ситуаций имеет незначительную тенденцию роста (рис.).



Количество аварийных случаев на ветроэнергетических установках

Таким образом, можно сделать вывод, что эффективность существующих систем аварийного торможения достаточно низкая, учитывая большое количество аварийных случаев.

Статья выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (СП-71.2018.1).

#### Библиографический список

1. Сироткин, Е.А. Особенности технологии управления ветроэнергетическими установками / Е.А. Сироткин // Наука ЮУрГУ: материалы 68-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – С. 849–858.
2. Коробатов, Д.В. Регулирование мощности ветроэнергетической установки / Д.В. Коробатов, Е.А. Сироткин, А.О. Троицкий // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 15–18. – С. 67–74.
3. Эффективные методы регулирования мощности устройств на основе ВИЭ / Д.В. Коробатов, А.С. Мартыанов, Е.В. Соломин, Е.А. Сироткин // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 11–12 (199–200). – С. 69–78.
4. Peter, I. Study and Optimization of Metal Based Sintered Materials for Automotive Brake Friction Production / I. Peter, M. Rosso // Solid State Phenomena, 2016, Vol. 254, Pp. 20–26.
5. John, H.K. The Development of Rotor Brakes for Wind Turbines / H.K. Jong, W.L. Hyoung // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol. 12, N. 15 (2017), Pp. 5094–5100.
6. Estiko, R. Development of a Hydraulic Brake Control System for 100kW Horizontal Axis Wind Turbines using Pressure Relief and Directional Valves / Estiko Rijanto, Aditya Sukma Nugraha, Anwar Muqorobin // International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 7, N. 4 (2012), Pp. 383–396.
7. Классификация систем управления ветроэнергетических установок / Д.В. Коробатов, С.В. Козлов, Е.А. Сироткин, А.О. Троицкий // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 13–14 (201–202). – С. 38–45.
8. B.S. Nivedh, Major Failures in the Wind Turbine components and the Importance of Periodic Inspection. – URL: [www.windinsider.com](http://www.windinsider.com).
9. Reder, M.D. Wind Turbine Failures – Tackling current Problems in Failure Data Analysis / M.D. Reder, E. Gonzalez, J.J. Melero // Journal of Physics: Conference Series 753 (2016) 072027.
10. Jui-Sheng, C. Failure analysis of wind turbine blade under critical wind load / Jui-Sheng Chou, Chien-Kuo Chiu, I-Kui Huang, Kai-Ning Chi // Engineering Failure Analysis 27 (2013), 99–118.
11. Dr. Patrick Bangert, algorithmica technologies GmbH, Failures of Wind Power Plants.

[К содержанию](#)