

УДК 62-531.9 + 621.311.24 + 621.548

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТОРМОЖЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Е.А. Сироткин

Приведена информация о существующих системах торможения для ветроэнергетических установок, рассмотрены их преимущества и недостатки, а также стоимостные характеристики. Проанализированы условия, в которых эксплуатируется ветроэнергетическое оборудование. Сделаны выводы о целесообразности применения систем торможения в ветроэнергетических установках в зависимости от климатических условий эксплуатации.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, система торможения ВЭУ, экономическая целесообразность.

Как правило, все ветроэнергетические установки (ВЭУ) рассчитаны и спроектированы таким образом, что электрический генератор выдает номинальную мощность при скорости ветра 11 м/с [1]. Однако подавляющее большинство ветроустановок дополнительно оснащают системами управления мощностью для обеспечения безопасной эксплуатации агрегата, т.к. при скорости ветра выше 11 м/с возникает вероятность аварии (разрушение ветроколеса, перегрев обмоток генератора, вибрационные колебания конструкции) [2]. В связи с установкой на ВЭУ дополнительного оборудования возрастает общая стоимость изделия, таким образом, появляется задача по нахождению компромисса между удешевлением установки и обеспечением безопасности ее эксплуатации.

На данный момент существует несколько разных принципов управления мощностью ВЭУ, каждый из которых делится на подклассы. Одними из первых в ветроэнергетической промышленности стали появляться аэродинамические регуляторы, потом механические, а в последнее время все больше внимания уделяется электрическому и электромеханическому принципам управления [3]. И для того чтобы корректно оценить экономическую целесообразность внедрения системы адаптивного регулирования в ветроэнергетические установки, необходимо понимать в целом, из чего складывается стоимость самого оборудования, и различать стоимость электроэнергии, получаемой от этого оборудования.

Цену ветроэнергоустановки определяет производитель. Поэтому вопросы «дороже-дешевле» являются очень условными в связи с различной добавочной стоимостью. Тем не менее можно выделить характерные черты изделий, влияющих на ценообразование. Лопастей у горизонтально-осевых ветроэнергоустановок (ГО ВЭУ) значительно сложнее в исполнении в связи с особой формой профиля и переменной хордой, чем у верти-

кально-осевых (ВО ВЭУ). При работе ВЭУ на лопасти ГО ВЭУ действуют центробежные силы и силы гравитации, что является причиной необходимости дополнительного усиления профиля шпангоутами и стрингерами. ГО ВЭУ являются более быстроходными, чем ВО ВЭУ, в связи с чем износ подшипников (на которые приходится до 80 % отказов) больше. Механизмы регулирования частоты вращения у ГО ВЭУ более сложные и снижают надежность [4].

На данный момент массогабаритные характеристики ВО ВЭУ уступают горизонтально-осевым аналогам, однако это нельзя считать однозначным недостатком, поскольку, например, в электрогенераторы порой добавляют дополнительные массы, играющие роль маховика [5]. Необходимо отметить, что ВО ВЭУ обладают меньшей парусностью, благодаря чему их можно использовать на более сильных ветрах, чем ГО ВЭУ. Ко всему прочему в гондоле ГО ВЭУ невозможно разместить ряд сервисного оборудования, что невыгодно отличает их от ВО ВЭУ [6].

ГО ВЭУ неизбежно и, по определению, генерируют ряд паразитных шумов, в том числе и инфразвук – за счет срыва потока с лопастей [7]. Немаловажным параметром является наличие низкочастотных и высокочастотных вибраций. У ВО ВЭУ показатели по шуму и вибрациям значительно лучше, что позволяет их эксплуатировать в непосредственной близости к жилым помещениям и даже на инженерных объектах [8]. Мачта ВО ВЭУ при размещении на зданиях жилого сектора и других инженерных объектах может быть значительно ниже, чем в полевых условиях, что снижает общую стоимость изделия на 30–50 %, а обслуживание и ремонт на 50–80 %.

В связи с вышесказанным, стоимостные характеристики ГО и ВО ВЭУ являются примерно одинаковыми. Однако сегодня сравниваются серийно-выпускаемые ГО ВЭУ и экспериментальные образцы ВО ВЭУ по той причине, что ВО ВЭУ являются молодыми установками, получившими серьезное развитие только с начала XXI века. Следовательно, можно прогнозировать, что при выпуске серии ВО ВЭУ их стоимость будет ниже, чем ГО ВЭУ. Это в любом случае будет зависеть от добавочной стоимости производителя.

Цена электроэнергии определяется различными методиками. Одной из простейших является определение стоимости киловатт-часа из отношения закупочной цены производящего оборудования к сроку эксплуатации. На первый взгляд, сегодня стоимость киловатт-часа, полученного от ГО ВЭУ, ниже, чем от ВО ВЭУ. Однако это не так. Во-первых, флуктуации ветра (переменное направление и скорость потока) вызывают необходимость регулирования положения ГО ВЭУ «на ветер» для установления коллинеарности оси вращения и вектора набегающего потока [9]. На это требуется время, в течение которого выработка энергии ГО ВЭУ значительно снижается. Если понаблюдать за положениями румба-анемометра, можно отметить непостоянство направления ветра. Для ВО ВЭУ изменчи-

вое направление ветра не влияет на выработку. Полевые испытания одинаковых по мощности ВО и ГО ВЭУ – мощностью 3 кВт каждая на мачтах высотой 12 метров в степной зоне РФ (Троицкий р-н Челябинской области на границе с Казахстаном) – показывают, что выработка электроэнергии у ВО ВЭУ больше в 1,5–2 раза, чем ГО ВЭУ за счет отсутствия необходимости регулирования положения [10]. Это основное обстоятельство, которое определяет стоимость киловатт-часа, которая у ВО ВЭУ получается в 1,5–2 раза ниже, чем у ГО ВЭУ.

Когда речь заходит о ценовых диапазонах систем управления мощностью, то невозможно назвать конкретные суммы, не рассматривая при этом какую-либо определенную ветроэнергетическую установку, однако можно предположить, что стоимость изготовления системы будет сопоставима с общей стоимостью всей конструкции ветроагрегата. Для такого предположения достаточно сравнить массовые характеристики элементов распространенных регуляторов и всей ветроустановки [11]. Что касается электрооборудования системы управления, то здесь многое зависит от марки производителя комплектующих и качества их изготовления. Но стоит отметить, что все комплектующие (датчики, исполнительные механизмы, блоки сравнения, усилители и пр.) находятся в массовом серийном производстве по всему миру и могут быть внедрены в систему регулирования, особенно если стадия ее проектирования совпадает по времени со стадией проектирования конструкции ВЭУ.

Кроме того, оценить целесообразность использования системы адаптивного регулирования можно, оценив стоимость ремонта тех или иных элементов ВЭУ в случае аварии. В случае разрушения ветроколеса потребуются дополнительные затраты на демонтаж разрушенных элементов, изготовление и установку новых частей ВЭУ. При перегреве генератора, при наилучшем развитии событий, может потребоваться только замена электротехнических узлов, а это потребует общий демонтаж и разбор всего агрегата. Наихудшим вариантом может стать возгорание установки и полный выход из строя с дальнейшей невозможностью восстановления. В случае превышения вибрационных показателей возможно возникновение дисбаланса конструкции и, как следствие, постепенное разрушение механических узлов. Также здесь следует учитывать месторасположение ветроэнергетического оборудования. Если вблизи не находится никаких объектов, которым может быть причинен вред при аварии ветроагрегата, то ценовые затраты на ликвидацию последствий будут оцениваться только затратами на восстановление и ремонт ВЭУ. Но если ветроэнергетический объект находится вблизи строений или непосредственно на крыше зданий, то затраты на устранение последствий аварии могут быть на порядок выше, чем в первом случае. Использование системы адаптивного управления, рассчитанной для заданной климатической зоны, позволит предотвратить разрушение ветроустановки.

Подводя итог, можно сказать, что необходимость интеграции систем управления мощностью в конструкцию ветроустановок вполне оправдана. Тем не менее, следует подбирать те или иные вариации блоков управления под определенные климатические условия территории, где будет эксплуатироваться ВЭУ. Благодаря тенденции унификации и стандартизации всех отраслей промышленности появляется возможность создать ряд систем управления с различными характеристиками, которые можно опционально устанавливать на серийные образцы ВЭУ.

Библиографический список

1. Sirotkin, E.A. State of world wind industry development / E.A. Sirotkin, E.V. Solomin // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2014. № 1. Pp. 22–26.
2. 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.
3. Bianchi, Fernando D. Wind turbine control systems: principles, modelling and gain scheduling design. 2007.
4. Сироткин, Е.А. Эффективные методы регулирования мощности устройств на основе ВИЭ / Е.А. Сироткин, Д.В. Коробатов, А.С. Мартыанов, Е.В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 11–12 (199–200). – С. 69–78.
5. Безруких, П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология / П.П. Безруких. – М.: Колос, 2008.
6. Сироткин, Е.А. Классификация систем управления ветроэнергетических установок / Е.А. Сироткин, Д.В. Коробатов, С.В. Козлов, А.О. Троицкий // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 13–14 (201–202). – С. 38–45.
7. Сироткин, Е.А. Электромеханическая система аварийного торможения ветроэнергетической установки / Е.А. Сироткин, Е.В. Соломин, С.В. Козлов // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 1 (30). – С. 19–23.
8. Сироткин, Е.А. Регулирование мощности ветроэнергетической установки / Е.А. Сироткин, Д.В. Коробатов, А.О. Троицкий // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 15–18. – С. 67–74.
9. Лятхер, В.М. Развитие ветроэнергетики / В.М. Лятхер // Малая энергетика. – 2006. – № 1–2 (4–5). – С. 18–38.
10. Sirotkin, E.A. Adaptive control over the permanent characteristics of a wind turbine / E.A. Sirotkin, E.V. Solomin, A.S. Martyanov // Procedia Engineering. 2015. T. 129. Pp. 640–646.
11. Сироткин, Е.А. Анализ жизненных фаз ветроэнергетической установки / Е.А. Сироткин, А.С. Аникин, С.В. Козлов, Е.Е. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 5 (145). – С. 37–41.

[К содержанию](#)