

ВИБРОГАСИТЕЛИ МАЧТ СВЕРХМАЛЫХ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин
г. Челябинск, ЮУрГУ

TOWERS VIBRATION DAMPERS OF SMALL VERTICAL AXIS WIND TURBINES

I.M. Kirpichnikova, E.V. Solomin
Chelyabinsk, South Ural State University

В статье дается описание необходимости установки виброгасителей мачт при размещении ветроэнергетических установок в непосредственной близости к жилому сектору

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, ветроэнергетические установки, вибрации, виброгасители.

The necessity of mounting of the towers vibration dampers when placing the wind turbines constructions close to a dwelling is given in the article.

Keywords: renewable energy, wind turbines, vibrations, vibration dampers.

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ), как любая энергетическая или промышленная установка, оказывает вредное влияние на окружающую среду, однако, в отличие от топливных электростанций воздействие от ВЭУ носит локальный характер и может быть уменьшено различными способами, методами и подходами. Из основных негативных последствий работы ветростанций доминирующее значение имеют вибрационные колебания. Они являются причиной разрушения ветроустановок и окружающих предметов, а также близстоящих инженерных сооружений. Определенный спектр вибрационных колебаний может являться причиной возникновения шума, инфразвука или ультразвука, опасных для живых организмов. За счет вибрации могут происходить эрозия почвы, возникать помехи в навигационных приборах, телевизионном и коммуникационном оборудовании [1].

Большинство крупных ветроэнергетических установок полностью автоматизировано, и работает с ведением контроля вибрации. При возрастании вибрации выше нормы, например, при частичном обледенении и последующей разбалансировке ветроколеса (ротора), ВЭУ немедленно останавливается (стопорится). Малые и средние установки, как правило, не оборудованы датчиками вибрации и, к тому же, все чаще устанавливаются рядом с жилыми, офисными и производственными зданиями. Эта тенденция возникает благодаря тому, что пользователями малых и средних установок являются физические лица и небольшие компании, не имеющие возможности приобрести

крупные ВЭУ и стремящиеся сократить установочные и эксплуатационные затраты. Приближение ветроустановок к жилому сектору снижает на 50 % монтажные работы и на 25-50 % затраты на обслуживание в связи с отсутствием выездов и проведения полевых высотных работ, сокращением длины линий электропередач, пути подвоза комплектующих, снижением рисков присутствия ВЭУ на неохраняемых территориях и т. д. Однако, при размещении ВЭУ вблизи постоянного присутствия человека и/или животных, эти параметры необходимо отслеживать согласно соответствующим СНиП, ГОСТ и другим, применяемым в каждом конкретном случае регламентирующим документам.

Исходя из анализа изученной литературы, можно констатировать, что появление вибрационных колебаний в элементах ветроэнергетической установки, особенно с вертикальной осью вращения, изучено ещё не в полной мере благодаря их ограниченному использованию в связи с тем, что до конца XX века преобладало мнение о низком КПД вертикально-осевых ВЭУ, отсутствии самораскрутки, наличии повышенных вибраций [2]. Отмечены также случаи разрушения агрегатов в результате сильной вибрации, чему способствовало отсутствие научно обоснованных технологий статической и динамической балансировки роторов вертикально-осевых установок.

В 2002-2008 гг. ученые ООО «ГРЦ-Вертикаль» совместно с представителями Лаборатории Беркли (США) провели исследования и опытно-конструкторские работы, результатом ко-

торых явился ряд ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения, лишенных большинства вышеперечисленных недостатков.

Такой успех стал возможен за счет применения метода итерационной оптимизации архитектуры и материалов испытуемых ветроустановок, заключающегося в поэтапной корректировке свойств конструкции на основании анализа напряженно-деформированного состояния, собственных частот, основных тонов упругих колебаний, вибрационного фона ВЭУ, с последующим выделением возможных резонансов и их снижением [3]. Тем не менее, очевидно, что вибрационные колебания ветроагрегатов невозможно ликвидировать полностью. Вследствие этого продолжают исследования возможности снижения уровня вибраций различными способами. При этом необходимо различать путь уменьшения вибраций в период проектирования и предпродажной подготовки ветроустановки и путь снижения виброколебаний непосредственно в процессе работы установки (например, при разбалансировке в результате поломки агрегатов, оледенения лопастей и т.д.). В ООО «ГРЦ-Вертикаль» разработан и используется в период предэксплуатационной вибробалансировки способ снижения вибраций за счет подбора материалов компонентов ВЭУ и последующей динамической плоской балансировки ротора ветроэнергетической установки на основе шестилопастной вертикально-осевой ВЭУ-3 мощностью 3 кВт (рис. 1).

Однако в процессе эксплуатации ВЭУ возможна разбалансировка ротора и возникновение вибраций. Регистрация вибраций малых и сверхмалых ветроустановок (до 10 кВт) может быть осуществлена за счет использования датчиков, предлагаемых промышленностью в большом ассортименте. При возникновении вибраций выше

определенного уровня необходимо немедленное вмешательство, особенно в установках, находящихся в непосредственной близости к инженерным сооружениям, а тем более на них, что может вызвать непредсказуемые последствия вплоть до разрушения здания или сооружения.

Одним из вариантов гашения колебаний может служить виброгаситель мачты ветроэнергетической установки, препятствующий распространению вибраций. Целью виброгасителя является гашение вибраций, возникающих при вращении ротора ветроэнергетической установки и передающихся с ротора на мачту, гашение стоячих волн, приходящих от ротора и распространяющихся вдоль мачты, а также самоцентрирование мачты. При жестком (консольном) креплении к фундаменту нижний конец мачты не может гасить колебания, в связи с чем вибрационные колебания через фундамент передаются конструкции сооружения, что негативно сказывается на их прочности и может привести к разрушению, причем как ВЭУ, так и самого сооружения. В некоторых случаях может возникнуть стоячая волна (волны), приводящая к возникновению вертикальных возвратно-поступательных и радиальных вибрационных колебаний и, в конце концов, к последующему разрушению установки.

На рис. 2 представлены варианты виброгасителя. Мачта-труба 7 через упор 1, жестко вмонтированный в ней, передает усилие на демпфирующий элемент в виде пружины 2-1 или резины 2-2, который опирается на подвижный вдоль оси мачты закладной элемент 3, расположенный на шаре 4. Нижняя сферическая поверхность закладного элемента 3 имеет радиус закругления, больший, чем у шара. При возникновении осевых (вертикальных возвратно-поступательных) вибрационных колебаний мачты 8 демпфирующий элемент сглаживает её колебания,

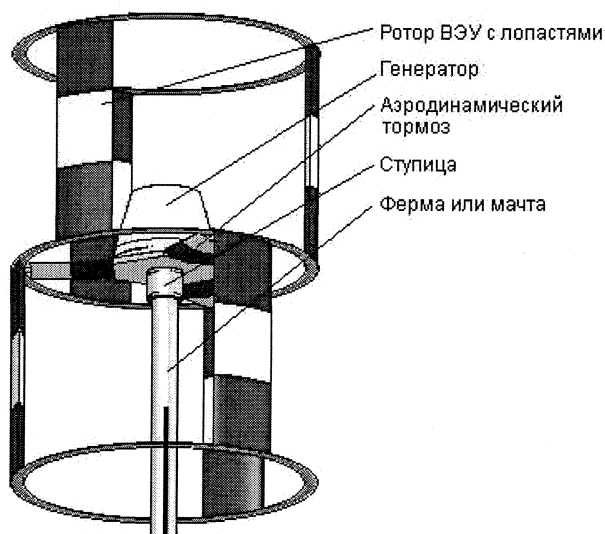


Рис. 1. Ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения

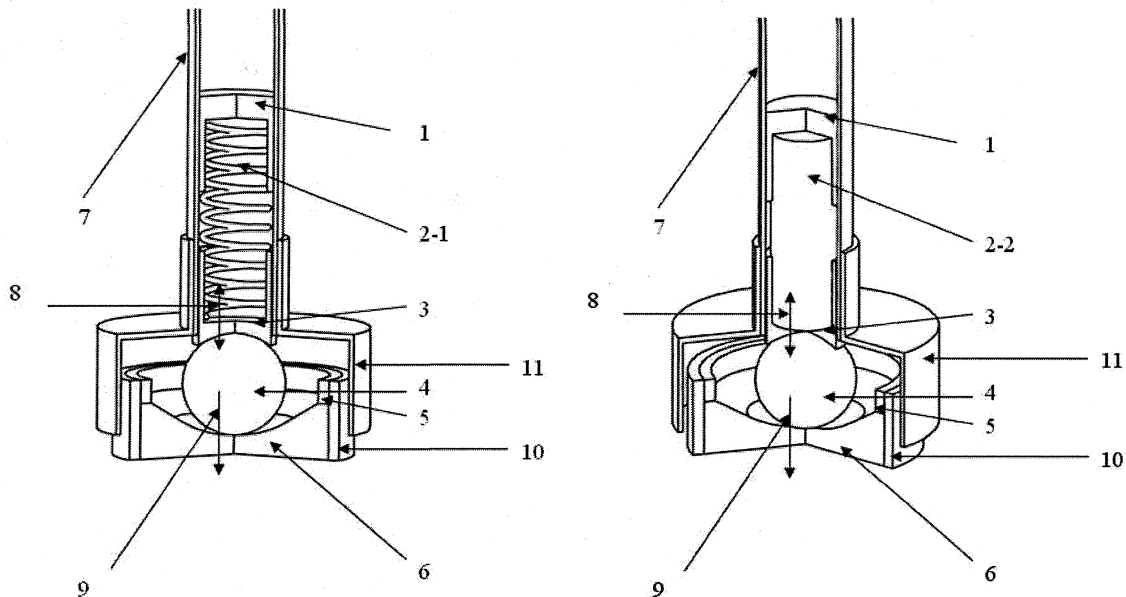


Рис. 2. Варианты виброгасителей

тем самым уменьшая вибрационную нагрузку 9 на чашу 6, направленную вертикально. Вогнутая сферическая верхняя поверхность чаши 6 способствует удержанию шара 4 в центральном положении. При возникновении радиальных (горизонтальных) колебаний шар 4 смещается под их действием, однако всегда стремится возвратиться на место благодаря силе тяжести, действующей на ротор, ступицу и мачту. Ограничитель 11 в совокупности с демпфирующей прокладкой 10, выполненной из эластичного полимерного материала, например резины, ограничивает амплитуду колебаний и частично гасит вибрацию за счет своих естественных демпфирующих свойств. Предельно допустимая амплитуда колебаний исчисляется отдельно для каждого конкретного вида (типа, массы и других параметров) ветряных установок и мачт. Кроме того, дополнительный ограничительный элемент является кожухом для всего виброгасителя и предотвращает попадание пыли, осадков и других инородных тел в виброгаситель.

Гашение колебаний мачты - не единственная проблема, которую необходимо решать при защите базового сооружения от вибраций, генерируемых установленной на нем малой или сверхмалой ветроэнергетической установкой. Вибрации также передаются и на растяжки мачты, которыми в большинстве случаев она оборудована. При этом в каждой растяжке, а, как правило, их не менее трех, возникают вибрации, различные по амплитуде, фазе и частоте, так как во-первых, набегающий на ВЭУ поток имеет различную, меняющуюся во времени возмущающую силу и направление, а вторых, нагружение каждой растяжки в каждый момент происходит также по разному. Расчеты и практика показывают, что сила, действующая со стороны мачты на растяжку верхнего яруса, может составлять до 90 000 Н, т. е. пиковые нагрузки на кронштейны крепежа растяжки могут составить до

9 тонн! Именно поэтому для удержания мачты в вертикальном положении нельзя применять жесткие откосы. Применение же эластичных тросов демпфирует только часть колебаний. Таким образом, не все колебательные процессы могут быть предупреждены с помощью одних только тросовых растяжек-демпферов. Необходимы дополнительные виброгасители и/или амортизаторы.

СНиП П-23-81 «Стальные конструкции» говорят о том, что в оттяжках мачт, на проводах и канатах горизонтальных антенных полотен для гашения вибрации следует предусматривать последовательную установку парных низкочастотных (1-2,5 Гц) и высокочастотных (4-40 Гц) виброгасителей рессорного типа. Низкочастотные гасители следует выбирать в зависимости от частоты основного тона оттяжки, провода или каната.

Расстояние s до места подвески гасителей от концевой заделки каната следует определять по формуле:

$$s \geq \beta d \sqrt{\frac{P}{m}},$$

где d - диаметр каната, мм; m - масса 1 м каната, кг; P - предварительное натяжение в канате, Н; β - коэффициент, равный 0,00041.

Одним из вариантов амортизатора растяжки (оттяжки) может служить устройство, изображенное на рис. 3. Амортизатор представляет собой цилиндрический корпус 7, имеющий отверстие в одном из оснований 12, через которое проходит шток 10, с одного конца которого находится пружина 11. Другой конец штока 10 имеет плоскую круглую пластину 8. Между пластиной 8 и основанием цилиндрического корпуса 12 расположена пружина 9-1 или иной демпфирующий элемент, изготовленный из эластичного полимерного материала, например резины, и являющийся гасителем

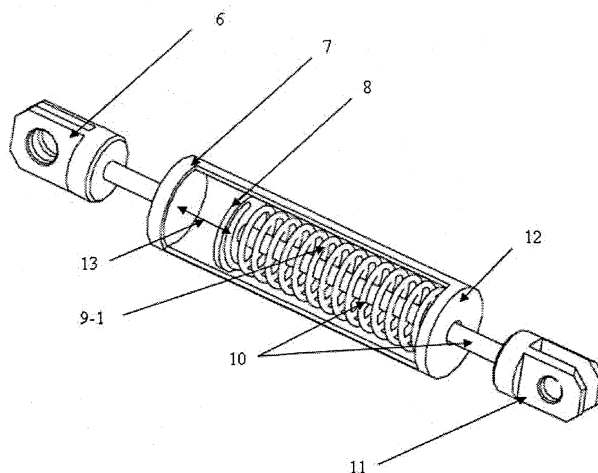


Рис. 3. Виброгаситель растяжки с пружиной

колебаний, возникающих в растяжке. Проушиной 6 амортизатор крепится к растяжке, проушиной 11 к кронштейну мачты.

Функцией устройства является как гашение вибраций, так и пляски растяжек (галопирования), возникающих при вращении ротора ветроэнергетической установки и передающихся с ротора на мачту и далее на растяжку. Галопирование представляет собой вид высокоэнергетического импульса, который имеет циклический характер и вызывает сильную нагрузку в местах крепления растяжки. При расположении фундамента растяжки на инженерном сооружении (здании, мостовой конструкции и т. д.) вибрационные колебания передаются конструкциям сооружения, что негативно сказывается на прочности этих конструкций и может привести к их разрушению. Возникновение стоячих волн, приводящих к появлению продольных вдоль растяжки возвратно-поступательных вибрационных колебаний, может, в конце концов, привести к последующему отрыву растяжки и/или разрушению мачты и/или ротора установки.

Благодаря наличию датчиков вибраций и предложенных конструкций виброгасителя мачты и амортизаторов растяжек пользователь ветроэнергетической установки может своевременно полу-

чать тревожный сигнал о возникновении вибраций опасного уровня, но при этом система на определенное время задержит распространение этих колебаний на базовую конструкцию или сооружение и позволит провести соответствующие работы по устранению или снижению опасных явлений, приводящих к возникновению резонансов сооружения и ВЭУ. Время задержки распространения вибрационных колебаний может вычисляться согласно прогнозируемой функции нарастания колебательного процесса и характеристикам виброгасителей и амортизаторов.

Литература

1. Безруких, П.П. *Использование энергии ветра* / П.П. Безруких. - М.: Колос, 2008. - 4 с.
2. Ляхтер, В.М. *Развитие ветроэнергетики* / В.М. Ляхтер // *Малая Энергетика*. - 2006. - № 1-2. - С 23-38.
3. Соломин, Е.В. *Автореф. дис. ... канд. техн. наук* / Е.В. Соломин // *Челябинск: Изд-во ЮУрГУ*, 2008. - 9 с.
4. СНиП 11-23-81. *Стальные конструкции. Дополнительные требования по проектированию конструкций антенных сооружений связи высотой до 500 м.* (ред. от 12.07.1989). - С. 1-15.

Поступила в редакцию 15.02.2009 г.

Кирпичникова Ирина Михайловна - заведующий кафедрой электротехники ЮУрГУ, доктор техн. наук, профессор. Научные интересы - электронно-ионная технология, использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Kirpichnikova Irina Mikhailovna is Head of the Electrical Engineering Department of South Ural State University, Dr.Sc. (Engineering), Professor. Research interests: electron-ionic technology, use of nonconventional renewed energy sources.

Соломин Евгений Викторович - генеральный директор ООО «ГРЦ «Вертикаль», кандидат технических наук, в 1990 году окончил Будапештский технический университет, Венгрия, по специальности «Робототехника». Область научных интересов - ветроэнергетика.

Solomin Eugeny Viktorovich is CEO of the Limited Liability Company "SRC-Vertical", Cand.Sc. (Engineering). In 1990 Solomin graduated from Budapest Technical University (Hungary), major Robotics. Research interests: wind-power engineering.