

Литература

1. Волоховский, Г. А. Эксплуатация и ремонт систем сельскохозяйственного водоснабжения: Справочник / Г. А. Волоховский. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 224 с.
2. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
3. Старинский, В. П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов: учебное пособие / В. П. Старинский, Л. Г. Михайлик. – Минск: «Высшая школа», 1989. – 269 с.
4. Ивашечкин, В. В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин: монография / В. В. Ивашечкин; под ред. А. Д. Гуриновича. – Минск.: БНТУ, 2005. – 270 с.

УДК332.36

Размеры санитарно-защитной зоны ветроэнергетических установок

Коревицкий Г. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением границ санитарно-защитных зон (далее – СЗЗ) ветроэнергетических установок (далее – ВЭУ). Проанализированы факторы, определяющие их размеры. Подробно рассмотрена методика определения дальности отлета различных предметов (льда, элементов лопастей и проч.), сорвавшихся с лопасти ветроэнергетических установок во время их работы.

В соответствии с санитарными нормами и правилами «Требования к организации санитарно-защитных зон предприятий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 35 от 15.05.2014, базовый размер СЗЗ для ветроэнергетических установок не установлен и определяется расчетом.

К физическим факторам загрязнения, определяющим размеры СЗЗ ВЭУ, относятся вибрация, инфразвуковые колебания, ультразвуковое воздействие, электромагнитные поля, ионизирующее излучение радиоактивных веществ, шум, отрыв и падение лопастей и льда. Вышеперечисленные факторы, за исключением последнего, определяются расчетом по методикам, приводимым в действующих нормативах. Методики, позволяющей определять дальность разлета предметов, сорвавшихся с ветроколеса ВЭУ, не приводится ни в нормативной, ни в справочной литературе.

В процессе эксплуатации ВЭУ при определенных условиях может возникнуть явление обледенения лопастей. Образование наледи на лопастях опасно для окружающих: в какой-то момент этот лед, срывается и отлетает на значительное расстояние.

В этой связи возникает необходимость разработки методики, позволяющей определить дальность отлета различных предметов (льда, элементов лопастей), сорвавшихся с лопасти ветроколеса ВЭУ при его вращении.

Задаемся системой координат (рис. 1): абсолютная система координат $Oxyz$ неподвижна и ее начало размещается в основании башни; относительная система координат $Ox_1y_1z_1$ подвижна и располагается на кромке лопасти ветроколеса в месте предполагаемого отрыва от лопасти осколка льда. Оси подвижной и неподвижной систем координат параллельны и совпадают по направлению.

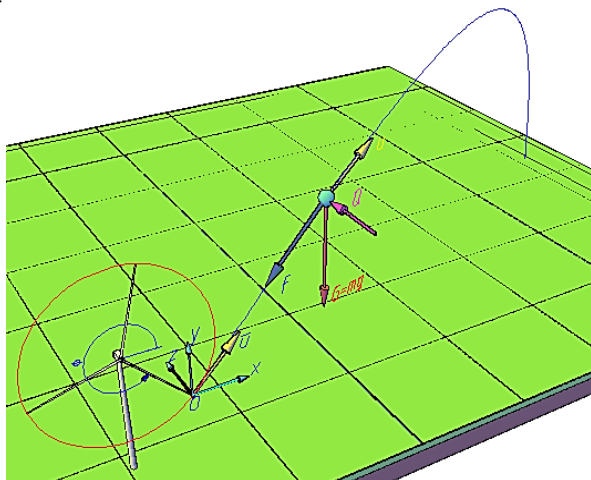


Рис. 1. Расчетная схема

Линейная или окружная скорость \vec{v} направлена по касательной к траектории движения точки. При равномерном вращении лопастей ветроколеса окружная скорость \vec{v} может быть определена по выражению

$$\vec{v} = \frac{2\pi Rn}{60},$$

где R – радиус ветроколеса; n – частота вращения лопастей ветроколеса.

На материальную точку во время полета действует три силы:

- сила тяжести G ;
- сила сопротивления воздуха F ;

– сила ветра Q , действующая на летящее тело.

Дифференциальные уравнения движения центра массы тела в выбранной системе координат имеют следующий вид:

$$\begin{cases} m \frac{d\vartheta_x}{dt} = -F \cos(\widehat{F\vartheta_x}); \\ m \frac{d\vartheta_y}{dt} = -G - F \cos(\widehat{F\vartheta_y}); \\ m \frac{d\vartheta_z}{dt} = Q - F \cos(\widehat{F\vartheta_z}). \end{cases}$$

В этой системе сила тяжести

$$G = mg$$

Сила сопротивления воздуха, действующая на летящее тело:

$$F = C_{x0} \frac{\rho \vartheta^2}{2} S = k\vartheta^2,$$

где C_{x0} – безразмерный аэродинамический коэффициент сопротивления; S – характерная площадь тела; ρ – плотность среды (воздуха); ϑ – скорость тела относительно неподвижной системы координат.

Сила ветра, действующая на летящее тело:

$$Q = C_{x0} \frac{\rho \vartheta_w^2}{2} S = k\vartheta_w^2,$$

где ϑ_w – скорость ветра относительно неподвижной системы координат.

Скорость тела

$$\vartheta = \sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2}.$$

Начальные условия, в момент времени $t = 0$ (в момент отрыва тела от лопасти) будут:

$$t = 0 \begin{cases} x_0 = R \cos \varphi; \\ y_0 = H + R \sin \varphi; \\ z_0 = 0; \\ \vartheta_{x_0} = \vartheta \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right); \\ \vartheta_{y_0} = \vartheta \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right); \\ \vartheta_{z_0} = 0; \\ 0 \leq \varphi < 2\pi. \end{cases}$$

где R – радиус ветроколеса; φ – угол между радиусом вектором окружности лопастей ветряка и положительно направленной горизонтальной осью Ox ; H – высота башни ветряка (расстояние от основания башни до оси вращения ветроколеса).

Разделив правые и левые части уравнений на массу m , получим:

$$\begin{cases} \frac{d\vartheta_x}{dt} = -\frac{k}{m}\vartheta_x\sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2}; \\ \frac{d\vartheta_y}{dt} = -g - \frac{k}{m}\vartheta_y\sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2}; \\ \frac{d\vartheta_z}{dt} = \frac{k}{m}\vartheta_z^2 - \frac{k}{m}\vartheta_z\sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2 + \vartheta_z^2}. \end{cases}$$

Полученная система дифференциальных уравнений позволит определить положение материальной точки в любой момент времени. Эта система не может быть проинтегрирована, возможно лишь приближенное решение ее численными методами.

Приведенная методика использовалась для определения размеров СЗЗ в районе а.г. Невда Новогрудского района Гродненской области. Объект введен в эксплуатацию в 2018 году и в настоящее время успешно эксплуатируется. ВЭУ фирмы «Vestas», Дания, мощность 2,0 МВт, высота 80 м, диаметр ветроколеса 110 м, частота вращения ветроколеса 14,89 об/мин, допустимая скорость ветра 22 м/с. Для решения использовался численный метод решения системы ОДУ Рунге-Кутты 4-го ранга в приложении Microsoft Excel. Вычисления выполнялись с постоянным шагом времени $\Delta t = 0,01$ с для различных размеров осколков льда. Результаты расчетов показали, что осколки льда могут отлететь на расстояние более 400 м (рис. 2).

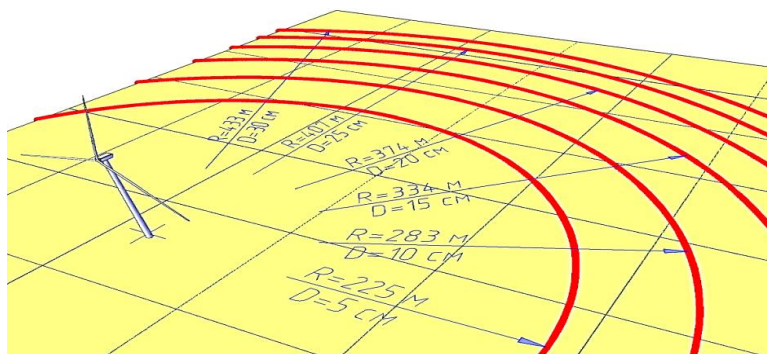


Рис. 2. Радиусы разлета осколков льда разных размеров

Предлагаемая методика позволяет определять размеры СЗЗ, либо, при необходимости, вводить определенные ограничения в работу ВЭУ (например, ограничение разворота гондолы ВЭУ или остановка ВЭУ при обледенении лопастей ветроколеса).