

УДК 620.92;532.533

## АСИМПТОТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА НА УПРУГОЙ ПОДВЕСКЕ

**Ю. А. Кашин, И. В. Сафонов**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
университет имени Франциска Скорины», Беларусь*

**Р. Е. Кашина**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Рассматриваются малые возмущения движения ветрогенератора и их асимптотическая устойчивость по Ляпунову при работе этой аэродинамической машины в режиме, близком к режиму наивысшего уровня конверсии энергии ветра, определенному в [1].

На ветроколесо машины действуют сила  $P$  лобового давления ветра, набегающего со скоростью  $U$ , и осевая восстанавливающая сила  $Q$  упругой подвески. При этом ветрогенератор получает аксиальное смещение  $x$  и поступательно движется со скоростью  $V = dx/dt$ . Момент  $M$  аэродинамических сил принуждает колесо вращаться с угловой скоростью  $\omega$ . Со стороны электрогенератора на это колесо действует противоположный момент  $L$  электромагнитных сил, соответствующей мощности развиваемой этим электрогенератором:

$$N = \omega L.$$

Динамическое состояние ветрогенератора описывается системой двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = P - Q, \\ I\dot{\omega} = M - L, \end{cases}$$

где  $m$  – масса ветрогенератора,  $I$  – приведенный момент инерции его вращающихся элементов.

Предполагается, что параметры исполнения и состояние решетки лопастей ветроколеса назначены из условия достижения при его данной угловой скорости вращения  $\omega_0$  и при данной скорости ветра  $U$  стационарного режима наивысшего уровня конверсии энергии ветра, характеризуемого данными значениями  $P_0 = Q_0$ ,  $M_0 = L_0$ . Это позволяет существенно упростить задачу линеаризации аэродинамических характеристик процесса при малых возмущениях в окрестности рассматриваемого стационарного режима и выделить наиболее значимые факторы, стабилизирующие процесс. На основе критерия Рауса–Гурвица построен алгоритм, позволяющий в пространстве параметров системы определить область асимптотической устойчивости. Приводятся результаты численного эксперимента, иллюстрирующего процесс потери устойчивости работы ветрогенератора на границе этой области.

Л и т е р а т у р а

1. Кашин, Ю. А. Автономная ветроэнергетическая установка (АВЭУ) с максимальным уровнем конверсии энергии ветра. Математическая модель ветротурбины / Ю. А. Кашин, Р. Е. Кашина // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2004. – № 3. – С. 59–64.