

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РОТОРА ТУРБИНЫ ЗА СЧЕТ УЧЕТА СВОЙСТВ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА

И.А. ТУРКИН

(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены процессы, происходящие в узлах трения ротора турбины при точном позиционировании. Предложен метод повышения точности позиционирования за счет учета свойств фрикционного контакта в математической модели, описывающей динамику системы.

Ключевые слова: силы трения, позиционирование, точность.

Введение. В настоящее время свойства фрикционного контакта металлических поверхностей до конца не раскрыты, однако существует множество теорий, описывающих физические явления в контакте, основанных на данных, полученных эмпирическим путем [1-3]. Главную проблему при формализованном описании динамики сложных технических систем составляет учет в математической модели действия сил трения. Силы трения имеют собственную динамику, связанную с динамикой системы управления, что оказывает существенное влияние на устойчивость и качество колебательных переходных процессов в системах с трением.

В статье рассматривается математическая модель системы позиционирования ротора турбины в условиях перехода силы трения от трения покоя к трению скольжения и, как следствие этого перехода, возникновения в системе фрикционных автоколебаний. Рассматриваемый ротор характеризуется большими массогабаритными свойствами, следовательно, процессы носят опасный для всей системы характер, при этом требования к качеству позиционирования очень высоки. Для систем, имеющих высокие требования по качеству и точности позиционирования, характерно наличие подробных математических моделей, описывающих процессы регулирования. В случае отсутствия таких моделей трудно, а иногда и невозможно, обеспечить требуемую точность.

Описание динамики системы. Систему позиционирования ротора турбины можно представить в виде трехмерной модели и кинематической схемы (рис.1).

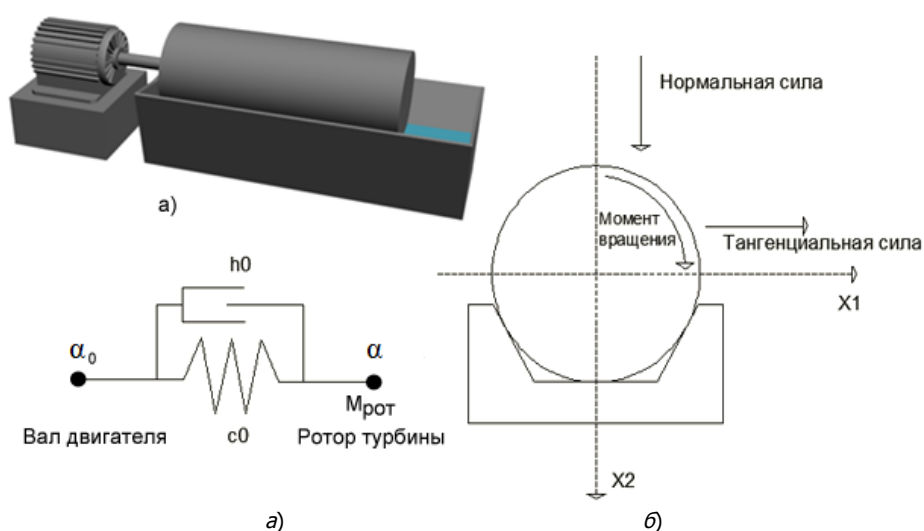


Рис.1. Описание взаимодействия двигателя и ротора: а – упрощенная трехмерная модель (двигатель, турбина, масляная ванна); б – кинематическая схема упруго-диссипативной связи; в – силы, взаимодействующие с опорой ротора

В зоне контакта ротора турбины с опорой формируются силы трения, препятствующие процессу позиционирования. В различных источниках дается множество интерпретаций действия этих сил, наиболее близко представлены силы в виде тангенциальной составляющей в железнодорожном транспорте [4]. Зависимость тангенциальной силы от угла поворота ротора показана на рис.2.

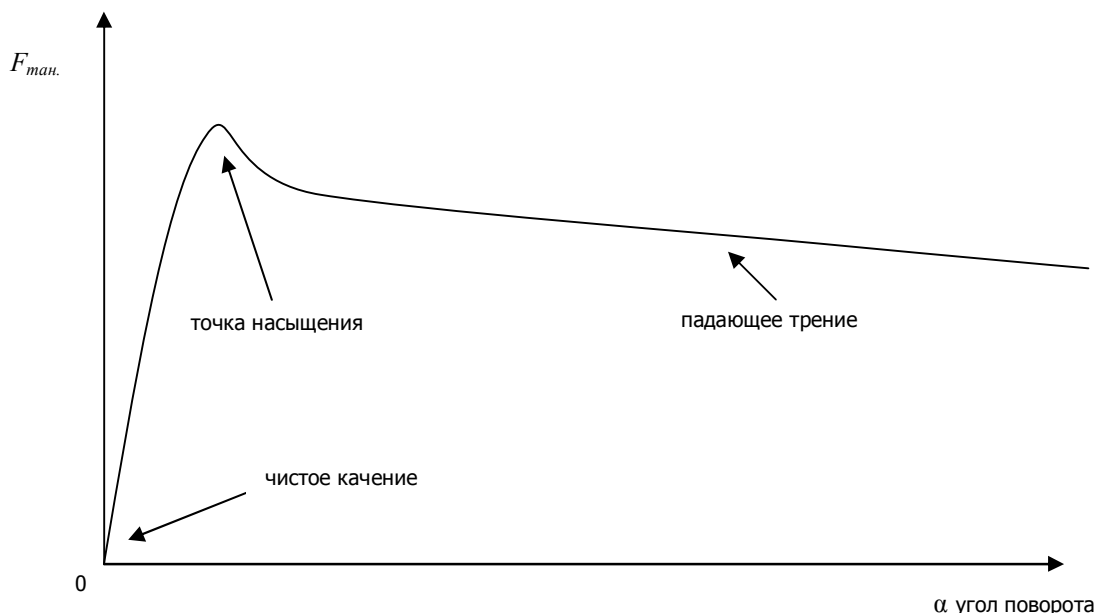


Рис. 2. Представление сил в тангенциальной составляющей

Математическая модель. Динамика системы, представленная на рис.1, может быть описана тремя функциональными блоками, связанными друг с другом.

1. Модель двигателя постоянного тока представлена следующей системой:

$$\begin{cases} U - C_e \cdot \omega = I \cdot R + L \cdot \frac{dI}{dt} \\ I \cdot C_m = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + M(\alpha). \end{cases} \quad (1)$$

2. Упруго-диссипативная связь, связывающая ротор с двигателем (см. рис.1, а):

$$\begin{cases} M_\partial = c_0(\alpha_0 - \alpha) + h_0\left(\frac{d\alpha_0}{dt} - \frac{d\alpha}{dt}\right) \\ M_{\text{пот}} = c_0(\alpha_0 - \alpha) = M_\partial - h_0\left(\frac{d\alpha_0}{dt} - \frac{d\alpha}{dt}\right), \end{cases} \quad (2)$$

где α_0 – угол поворота ротора двигателя рад; α – угол поворота вала турбины рад; c_0 – жесткость системы Н/м; h_0 – коэффициент, характеризующий диссипацию Н·с/м.

3. Динамика вала ротора:

$$C_0(\alpha_0 - \alpha) = J_p \frac{d\omega}{dt} + F_{mp} R, \quad (3)$$

где F_{mp} – исходя из рис.2; R – радиус ротора м; J_p – момент инерции ротора кг/м.

$$K_{x_2} \cdot x_2 \cdot F_{mp} = m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + h_1 \frac{dx_1}{dt} + c_1 x_1, \quad (4)$$

где C_1 – жесткость опоры Н/м, $c_1 \Rightarrow \infty$ обусловлено формой опоры и жесткостью соединительного вала; h_1 – характеризует диссипативные свойства среды Н·с/м, препятствующий движению по координате x_1 .

$$P \cdot e^{-k \frac{d\omega}{dt}} = m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + h_2 \frac{dx_2}{dt} + c_2 \frac{dx_2}{dt}, \quad (5)$$

где m – масса ротора кг.

Моделирование динамики системы. Моделирование производилось в среде Matlab, получены следующие результаты (рис.3):

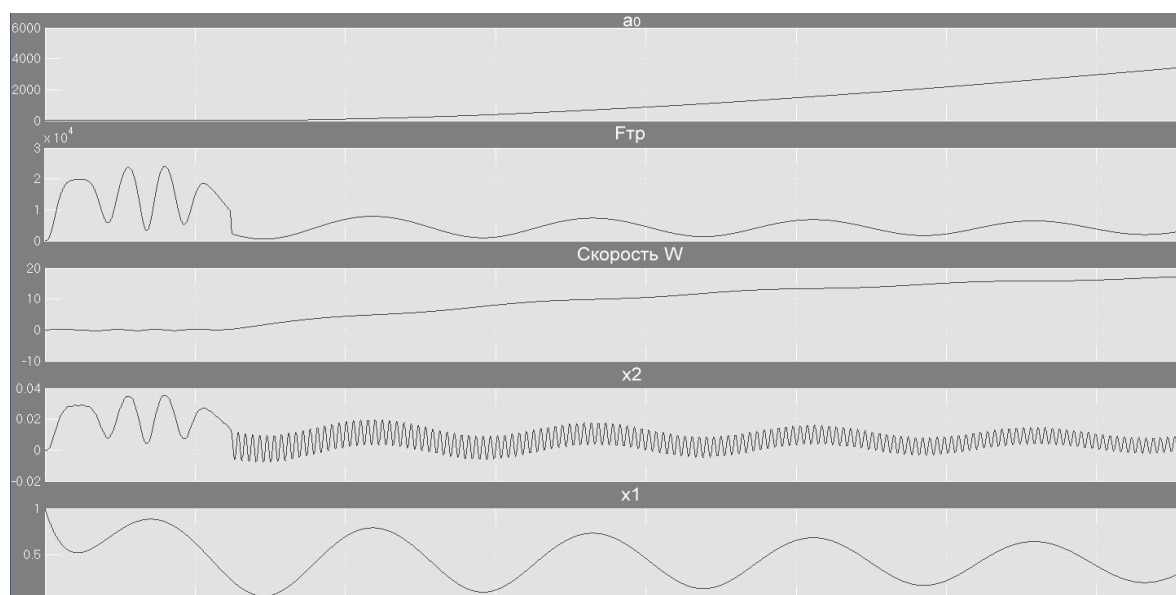


Рис.3. Результаты моделирования динамики системы: a_0 – график изменения угла во времени; $F_{тр}$ – зависимость тангенциальной силы во времени; W – скорость вращения; x_2 , x_1 – координаты, характеризующие вертикальные и горизонтальные перемещения центра масс ротора турбины

Динамика системы характеризуется наличием фрикционных колебаний, вызываемых изменением тангенциальной силы. Изменения тангенциальной силы, в свою очередь, вызываются влиянием эффекта всплывания и погружения ротора турбины в опору при изменении скорости вращения ротора турбины. При увеличении скорости вращения турбины наблюдается эффект всплывания (см. выражение (5)), при уменьшении скорости турбина опускается вниз. В результате этого движения в одном случае сила трения (см. выражение (4)) увеличивается, а в другом случае уменьшается.

Закключение. Модель динамики ротора турбины с учетом действия сил трения и взаимовлияния сил трения, и скоростных характеристик движения системы предлагается впервые. Подробное описание динамики движения ротора турбины позволит сформировать управление двигателем постоянного тока, исключая колебательный режим движения и обеспечить высокую точность позиционирования ротора.

Библиографический список

1. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1968. – 400 с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Младов А.Г. Системы дифференциальных уравнений и устойчивость движения по Ляпунову / А.Г. Младов. – М.: Изд-во МГУ, 1966. – 222 с.

4. Харрис У. Дж. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / У. Дж. Харрис, С.М. Захаров, Дж. Ландарен [и др.] – М.: Интекст, 2002. – 408 с.

Материал поступил в редакцию 13.09.2011.

References

1. Malinin N.N. Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti / N.N. Malinin. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 400 s. – In Russian.
2. Kragel'skij I.V. Trenie i iznos / I.V. Kragel'skij. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 480 s. – In Russian.
3. Mladov A.G. Sistemy` differencial`ny`x uravnenij i ustojchivost` dvizheniya po Lyapunovu / A.G. Mladov. – M.: Izd-vo MGU, 1966. – 222 s. – In Russian.
4. Xarris U. Dzh. Obobshhenie peredovogo opy`ta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy` vzaimodejstviya kolesa i rel`sa / U. Dzh. Xarris, S.M. Zaxarov, Dzh. Landaren [i dr.] – M.: Intekst, 2002. – 408 s. – In Russian.

ACCURACY INCREASE OF TURBINE RUNNER POSITIONING WITH FRICTIONAL CONTACT PROPERTIES

I.A. TURKIN

(Don State Technical University)

The processes occurring in the friction units of the turbine runner with the fine positioning are considered. The method for increasing positioning accuracy with allowance for the frictional contact properties in the mathematical model describing the system dynamics is proposed.

Keywords: friction forces, positioning, accuracy.