УДК 621.83

ЭМПИРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПАРЫ «САТЕЛЛИТ – РОЛИК» МУЛЬТИПЛИКАТОРА

И. В. ТРУСОВ, П. Н. ГРОМЫКО, Н. С. КОРНЕЕВ, А. Д. КОРОВКИНА
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Развитие возобновляемой энергетики требует постоянного повышения эффективности и снижения стоимости генерирующего оборудования. Одной из ключевых технических проблем при проектировании ветроэнергетических и приливных установок является несоответствие между низкой частотой вращения природного ротора (10...20 об/мин) и высокими оборотами стандартных электрогенераторов (1 500...1 800 об/мин).

Главным связующим звеном в этой цепи выступают механические мультипликаторы. Они обеспечивают трансформацию колоссального крутящего момента в высокую частоту вращения, позволяя использовать более компактные, легкие и доступные серийные генераторы.

Для расчета параметров зацепления и габаритных размеров элементов мультипликатора необходимо знать величину контактных напряжений в сопрягаемых парах. Формула Герца позволяет рассчитать напряжение, возникающее в месте соприкосновения отверстий сателлита и неподвижных роликов. Она описывает максимальное контактное напряжение σ_H как функцию нормальной силы на единицу длины контакта, модуля упругости и радиусов кривизны.

Предварительно для определения нормальной составляющей силы N_B воспользуемся расчетной схемой сателлитного колеса AB (рис. 1), основанной на уравнении равновесия моментов сил относительно точки A.

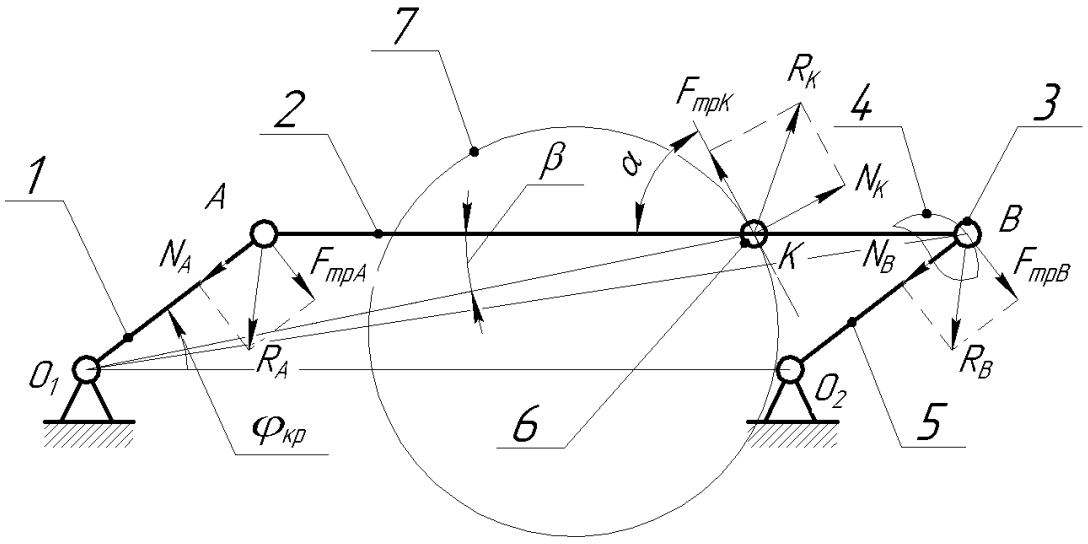

Рис. 1. Схема мультипликатора для определения нормальной силы N_B: *1* – кривошип; *2* – сателлитное колесо; *3* – шарнир *B*; *4* – отверстие неподвижного диска; *5* – дополнительный кривошип; *6* – условная точка контакта зубьев сателлитного колеса; *7* – условный профиль зуба центрального колеса

Тогда контактные напряжения между сателлитом и роликом определяют по зависимости

$$\sigma_H = \left[\left(2 \cdot E \cdot \frac{M_{вых} \cdot r_K}{i \cdot k_z \cdot \sqrt{e^2 + r_K^2 + 2 \cdot e \cdot r_K \cdot \cos\left(\varphi_{кр} + \frac{\varphi_{кр}}{z} \right)} \cdot r_B \cdot \left(\sin\left(\varphi_{кр} \right) + f_{трB} \cdot \cos\left(\varphi_{кр} \right) \right)} \times \right. \right.$$

$$\left. \left. \times \frac{f_{трK} \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)}{\left(f_{трK} \cdot \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{e \cdot \sin \varphi_{кр}}{r_K} \right) \right) + \cos\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{e \cdot \sin \varphi_{кр}}{r_K} \right) \right) \right)} \right) / \pi \cdot L \cdot \rho_{ПР} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где $M_{вых}$ – крутящий момент на выходном валу; $f_{трB}$ – коэффициент трения в точке B; r_B – расстояние, определяющее длину AB; i – число потоков мощности; k_z – коэффициент, учитывающий многопарность зацепления; $f_{трK}$ – коэффициент трения в точке контакта эксцентрикового зацепления сателлита и центрального колеса; α – угол наклона вектора силы трения относительно горизонтали; e – эксцентриситет, равный длине кривошипа O_1A; r_K – расстояние, определяющее длину AK; z – число зубьев сателлитного колеса; $\varphi_{кр}$ – угол поворота кривошипа O_1A; E – приведенный модуль упругости; L – длина цилиндра или ширина контакта; $\rho_{ПР}$ – приведенный радиус кривизны, который для цилиндра в отверстии равен

$$\rho_{ПР} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2}; \quad (2)$$

R_1 – радиус цилиндра; R_2 – радиус отверстия сателлита.

Согласно требованию обеспечения контактной прочности должно соблюдаться условие

$$[\sigma_H] > \sigma_H, \quad (3)$$

где $[\sigma_H]$ – допускаемое контактное напряжение.

Полученные зависимости (1)–(3) позволяют определить основные размеры элементов мультипликатора сопрягаемой пары «сателлит – ролик», удовлетворяющие требованиям контактной прочности. Полученные эмпирические данные подтверждены прочностным расчетом методом конечных элементов при компьютерном моделировании указанной контактной пары.