

ВЫЧИСЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ РОТОРА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Марцинковский В. А., профессор; Левченко Е. В., магистрант

Современные центробежные насосы, характеризуются многообразием рабочих параметров: от мини насосов в аппаратах «искусственное сердце» до питательных турбонасосов с подачей $1500 \text{ м}^3/\text{час}$, давлением нагнетания 35 МПа и потребляемой мощностью более 17 МВт (насос ПТН 1500-350). Частоты вращения роторов турбонасосных агрегатов ракетных двигателей превышают 200 000 об/мин.

Основным показателем технического уровня центробежных машин, особенно высоконапорных быстроходных, является их вибрационное состояние, а главный источник вибраций – неуравновешенный ротор. Ротор многоступенчатого центробежного насоса вращается в щелевых уплотнениях, которые представляют собой короткий кольцевой канал с радиальным зазором 0,15 – 0,3 мм.

Важной особенностью щелевых уплотнений является то, что их динамические характеристики, прежде всего гидростатическая жесткость, зависят от дросселируемого перепада давления, который, в свою очередь, пропорционален квадрату частоты вращения. Если собственная частота s_1 ротора на жестких опорах – постоянная величина (рисунок, прямая 1), то для ротора в щелевых уплотнениях собственная частота может увеличиваться или уменьшаться с ростом частоты вращения, в зависимости от геометрических параметров уплотнений (рисунок, кривые 2-4).

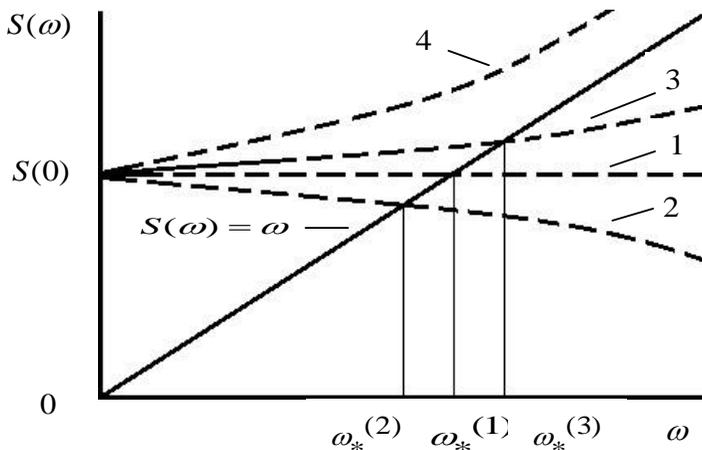


Рисунок – К определению критической частоты вращения ротора

Вычисление собственных частот сводится к отысканию корней приведенных ниже уравнений

$$\begin{aligned} (a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3)^2 &= -(a_4 \lambda + a_5)^2 \\ a_1 \lambda^2 + (a_2 \mp ia_4) \lambda + a_3 \mp ia_5 &= 0 \end{aligned}$$

Корни – две пары комплексных сопряженных чисел. Положительные мнимые части представляют собственные частоты прямой прецессии, отрицательные – обратной прецессии. Для роторов с однонаправленным вращением обратная прецессия практического интереса не представляет, поэтому в дальнейшем рассматриваются только две положительные собственные частоты.

Для случая, когда дросселируемый перепад давления не зависит от частоты вращения, результаты расчета, безразмерных ($\bar{s}_{1,2} = s_{1,2}/a_{30}$, $\bar{\omega} = \omega/a_{30}$) положительных собственных частот показаны на рис. 4. Из них следует, что основное влияние на собственные частоты оказывают перепад давления и параметр конусности.

Увеличение перепада от 13,3 до 45 МПа почти в два раза увеличивает собственные частоты, а в конфузорных уплотнениях ($\theta = 0,3$) собственные частоты примерно в пять раз больше, чем в диффузорных ($\theta = -0,3$). В то же время десятикратное увеличение номинальной частоты вращения практически не влияет на собственные частоты.

В случае независимости перепада от частоты вращения собственные частоты и критические частоты вращения с достаточной для практики точностью можно определять по суммарному коэффициенту жесткости a_3 и инерционному коэффициенту a_1 .

Приведенный анализ показывает, что собственные и критические частоты ротора в щелевых уплотнениях определяются, прежде всего, гидростатической жесткостью уплотнений. Последняя, в свою очередь, существенно зависит от формы дросселирующего кольцевого канала: конфузорность многократно увеличивает жесткость особенно при сравнительно больших дросселируемых давлениях.

Частотные диаграммы, т.е. зависимости собственных частот от частоты вращения, для уплотнений без конусности и для конфузорных уплотнений близки к горизонтальным прямым. С ростом частоты вращения различие между собственными частотами в диффузорных уплотнениях возрастает.

Таким образом, конструктор получает возможность на стадии проектирования машины целенаправленно выбирать параметры ротора и уплотнений, обеспечивающие требуемую отстройку от резонансов.

Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факульту технічних систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 23-26 квітня 2013 р.: у 2-х ч. / Ред.кол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2013. - Ч.1. - С. 117-118.