

собственных частот, большая часть которых связана с резонансными процессами.



Рис.1. Конечно-элементная модель фундамента.

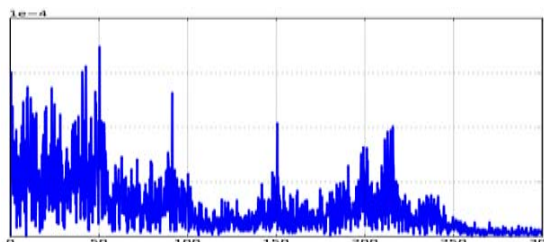


Рис.2. Амплитуды виброскорости (м/с) по значениям частот (Гц).

Одним из основных результатов расчетно-экспериментальных исследований было подтверждение правильности решения про остановку энергоблока на ремонтные работы и необходимость реконструкции фундамента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульженко Н.Г., Воробьев Ю.С. Численный анализ колебаний систем турбоагрегат-фундамент. – Киев: Наук. думка, 1991. – 232 с.
2. Красніков С.В., Степченко О.С., Торянiк А.В. Комп'ютерне моделювання багатокорпусного турбоагрегату та аналіз його вібраційних характеристик // *Машинознавство*. – Львів: Кінпатрі, 2009. – № 2. – С.27–33.
3. Водка А.А., Трубаев А.И., Ульянов Ю.Н. Виброизмерительный комплекс на основе микроэлектромеханического сенсора // *Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля*. – Луганськ, 2012. – № 9 (180). Ч.1. – С. 140–147.

НАДЕЖНОСТЬ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАБОЧИХ КОЛЕС ГИДРОТУРБИН С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИИ МАТЕРИАЛА

*Водка А.А., Ларин А.А., Трубаев А.И.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина

Болтовые соединения являются одним из широко распространенных видов соединений элементов конструкций. Срок эксплуатации болтовых соединений гидротурбин составляет в среднем 40 лет. За этот период в материале происходят необратимые физико-химические

изменения. Эти изменения в значительной мере могут оказывать влияние на механические параметры материала. Учет влияния деградиационных процессов в материале при проектировании позволит в значительной степени уточнить проектный ресурс болтовых соединений находящихся в длительной эксплуатации.

Как известно, переходные процессы являются одними из наиболее опасных режимов работы, так как именно на них возникают наибольшие напряжения в элементах конструкции. Принимая во внимание тот факт, что гидротурбины часто используются для регулирования суточных пиков потребления, то число циклов пусков/остановок превышает проектные значения и, по сути, является случайным процессом.

В работе необходимо определить параметры напряженного состояния (НДС), которое возникает на переходных режимах, и дать оценку показателям надежности болтовых соединений, рассматривая деградацию материала и частоту возникновения переходного режима как случайные процессы.

НДС болтовых соединений было определено на основе построенных конечно-элементных моделей, учитывающих контактное взаимодействие головки болта и резьбы с сопрягаемыми деталями.

Моделирование деградации материала проводилось как постепенное снижение предела усталости. Для определения ресурса болтовых соединений предлагается ввести меру повреждаемости, уравнение кинетики которой может быть записано в виде:

$$\frac{d}{dt} D(t) = \left(\frac{\sigma_a}{1 - D(t)} \right)^m \cdot \frac{\omega(t)}{N_0 \cdot \sigma_{-1}^m(t) \cdot (m + 1)}, \quad (1)$$

где $D(t)$ – функция меры повреждаемости, $\omega(t)$ – частота процесса, N_0 – базовое число циклов до разрушения, m – параметр кривой Веллера, σ_a – амплитудные значения напряжений цикла, $\sigma_{-1}(t)$ – предел усталости, t – время.

Таким образом, в работе построены конечно-элементные модели болтового соединения, определены параметры НДС и дана оценка ресурса болтовых соединений в вероятностной постановке, принимая деградиационный процесс в материале и частоту нагружения случайными функциями времени. По результатам исследований предложена методика прогнозирования ресурса болтовых соединений рабочих колес гидротурбин.

ОПИСАНИЕ ЧЕТЫРЕХ ТИПОВ ДВИЖЕНИЯ ГИРОСТАТА В ОДНОМ ОБОБЩЕНИИ СЛУЧАЯ СТЕКЛОВА

Волкова О.С.

Институт прикладной математики и механики НАНУ, Донецк

Вращение тяжелого гиростата вокруг неподвижной точки O в связанном с корпусом тела-носителя базисе описывается уравнениями

$$\mathbf{J}\dot{\boldsymbol{\omega}} + \dot{\boldsymbol{\lambda}} = (\mathbf{J}\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\lambda}) \times \boldsymbol{\omega} + \mathbf{e} \times \mathbf{v}, \quad \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega} \quad (1)$$

где $\mathbf{J} = \text{diag}\{J_1, J_2, J_3\}$ – тензор инерции гиростата, $\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость, \mathbf{v} – орт нисходящей вертикали, \mathbf{e} – орт радиус-вектора центра масс, $\boldsymbol{\lambda}$ – переменный гиростатический момент. Систему (1) необходимо дополнить уравнениями движения присоединенных тел гиростата; для их записи важна конфигурация рассматриваемой механической системы. Пусть гиростат состоит из твердого тела и закрепленного на нем маховика с регулируемой скоростью собственного вращения: $\boldsymbol{\lambda} = \lambda(t)\boldsymbol{\alpha}$, $|\boldsymbol{\alpha}| = 1$, где $\lambda(t)$ – не определенная пока непрерывно дифференцируемая функция. В предположении, что $\boldsymbol{\alpha}, \mathbf{e}$ направлены вдоль главной оси \mathbf{i}_1 и $\lambda = (L - J_1)(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{\alpha})$, где L – произвольная константа, в [1] указано решение уравнений (1), при $L = J_1$ соответствующее решению Стеклова [2]. В зависимости от параметров возможны четыре варианта решения [1]:

1) $L \in (2J_3; J_2)$, $J_2 > 2J_3$:

$$\omega_1 = p \operatorname{cn} ut, \quad \omega_2 = q \operatorname{sn} ut, \quad \omega_3 = r \operatorname{dn} ut,$$

$$v_1 = \frac{L \operatorname{cn}^2 ut}{L - J_3} - 1, \quad v_2 = v \operatorname{sn} ut \operatorname{cn} ut,$$

$$v_3 = w \operatorname{dn} ut \operatorname{cn} ut, \quad k^2 = \frac{J_2 - L}{J_2 - J_3};$$

$$L \in (\max\{J_2, 2J_3\}; 2J_2):$$

$$\omega_1 = p \operatorname{sn} ut, \quad \omega_2 = q \operatorname{cn} ut, \quad \omega_3 = r \operatorname{dn} ut,$$

$$v_1 = 1 - \frac{L \operatorname{sn}^2 ut}{L - J_3}, \quad v_2 = v \operatorname{cn} ut \operatorname{sn} ut,$$

$$v_3 = w \operatorname{dn} ut \operatorname{sn} ut, \quad k^2 = \frac{L - J_2}{L - J_3};$$

2) $L \in (-\infty; 0)$:

$$\omega_1 = p \operatorname{dn} ut, \quad \omega_2 = q \operatorname{sn} ut, \quad \omega_3 = r \operatorname{cn} ut,$$

$$v_1 = \frac{J_2}{J_2 - L} + z \operatorname{cn}^2 ut, \quad v_2 = v \operatorname{sn} ut \operatorname{dn} ut,$$

$$v_3 = w \operatorname{cn} ut \operatorname{dn} ut, \quad k^2 = \frac{J_2 - J_3}{J_2 - L};$$

3) $L \in (2J_2; +\infty)$:

$$\omega_1 = p \operatorname{dn} ut, \quad \omega_2 = q \operatorname{cn} ut, \quad \omega_3 = r \operatorname{sn} ut,$$

$$v_1 = \frac{J_2}{L - J_2} + z \operatorname{sn}^2 ut, \quad v_2 = v \operatorname{cn} ut \operatorname{dn} ut,$$

$$v_3 = w \operatorname{sn} ut \operatorname{dn} ut, \quad k^2 = \frac{J_2 - J_3}{L - J_3},$$

где k – модуль эллиптической функции, а $J_2 > J_3$. Зависимости p, q, r, u, v, w, z от \mathbf{J} и L в случаях 1)–4) имеют различный вид. Отметим, что при $\lambda = 0$ реализуемы только возможности 1) и 2): в 3) и 4) получили бы $J_1 < 0$ и $J_1 > J_2 + J_3$.

Соответствующие условиям 1)–4) движения гиростата будут *изоконическими*.

При условиях 1), 2) гиростат будет вращаться вокруг *горизонтальной* оси, а при условиях 3), 4) –

вокруг *вертикали*. Аналогично [3], введем в неподвижном пространстве систему координат $O\xi\eta\zeta$: ось $O\xi$ направим вдоль \mathbf{v} , а $O\xi$ и $O\eta$ – так, что $\omega_\xi = \omega_3$, $\omega_\eta = \varepsilon\omega_2$, $\omega_\zeta = \varepsilon\omega_1$, где $\varepsilon = -1$ при условиях 1), 4) и $\varepsilon = 1$ при условиях 2), 3). Неподвижный годограф вектора $\boldsymbol{\omega}$ – пересечение двух цилиндрических поверхностей, каждая из которых может быть эллиптической или гиперболической. Проекции годографа $\boldsymbol{\omega}$ на координатные плоскости – эллипсы, дуги эллипса ($\subset | \supset$) либо части ветвей гиперболы ($\supset \subset$):

Таблица 1. Проекции неподвижного годографа вектора $\boldsymbol{\omega}$.

	1)	2)	3)	4)
$O\xi\eta$	$\subset \supset$	$\supset \subset$	О	О
$O\xi\zeta$	$\supset \subset$	$\subset \supset$	$\supset \subset$	$\subset \supset$
$O\eta\zeta$	О	О	$\subset \supset$	$\supset \subset$

С помощью матрицы перехода [4] от $O\mathbf{i}_1\mathbf{i}_2\mathbf{i}_3$ к $O\xi\eta\zeta$ изучено движение центра масс гиростата. В частности, показано, что при условиях 1), 2) вектор \mathbf{e} дважды за период выравняется вдоль вертикали, а его годограф четыре раза пересекает горизонтальную плоскость; при условиях 3), 4) \mathbf{e} всегда составляет с \mathbf{v} острый угол. Аналитически исследована горизонтальная проекция годографа вектора \mathbf{e} . На Рис. 1 а), б) приведены различные типы проекций при условиях 1), 2) и 3), 4) соответственно.

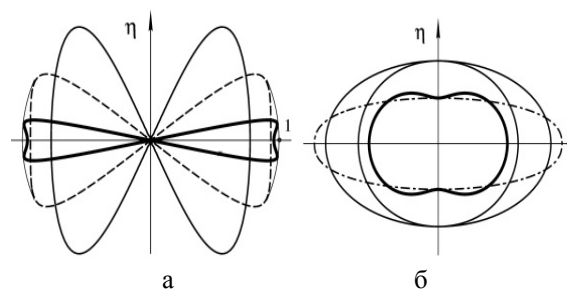


Рис. 1. Горизонтальные проекции годографа вектора \mathbf{e} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова О.С. Аналог решения Стеклова в задаче о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом. // Доповіді НАНУ. – 2013. – № 9.
2. Стеклов В.А. Новое частное решение дифференциальных уравнений движения тяжелого твердого тела, имеющего неподвижную точку. // Труды отд. физ. наук о-ва любителей естествознания. – 1899. – Т. 10. – Вып. 1. – С. 1–3.
3. Харламова Е.И., Мозалевская Г.В. Исследование решения В.А. Стеклова уравнений движения тела, имеющего неподвижную точку. // Мат. физика. – 1968. – Вып. 5. – С. 194–202.
4. Харламов М.П. О построении годографов угловой скорости тела, имеющего неподвижную точку. // МТТ. – 1981. – Вып. 13. – С. 10–14.