

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСА БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАБОЧИХ КОЛЕС ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНЫХ ГИДРОТУРБИН

Водка А.А., Ларин А.А., Трубаев А.И.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Болтовые соединения являются неотъемлемыми элементами многих энергетических, транспортных и авиационных машин. Выход из строя болтового соединения может приводить к выходу из строя всей конструкции, что делает задачу по определению ресурса болтовых соединений актуальной.

Практика эксплуатации гидротурбин неизбежно связана с переходными процессами, возникающими при их пусках и остановках. Эти процессы характеризуются значительными отклонениями параметров работы (осевое усилие, крутящий момент, частота вращения вала и др.) гидротурбины и могут проходить по различным сценариям в зависимости от рабочего режима. Частота возникновения переходных режимов в гидротурбинах в значительной степени зависит от внешних условий, так как гидротурбины часто применяются для сглаживания суточных и сезонных пиков потребления электроэнергии. Перечисленные выше обстоятельства позволяют рассматривать частоту возникновения переходных процессов как стационарный случайный процесс.

С другой стороны, значительный проектный ресурс болтовых соединений свидетельствует о необходимости учета в модели прогнозирования ресурса деградации материала. В работе моделирование деградации проводилось как постепенное снижение предела усталости. Для определения ресурса болтовых соединений предлагается ввести меру повреждаемости, уравнение кинетики которой может быть записано в виде:

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

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, $\sigma_e(t)$ – предел усталости, t – время. В уравнении (1) $\omega(t)$ и $\sigma_e(t)$ являются случайными процессами.

Предложенный подход позволяет получить оценку ресурса и его доверительный интервал с учетом деградации материала и случайного характера частоты возникновения переходных процессов.