

на рис. 1. Для відображення впливу МСП результати розрахунку без МСП показані штриховими лініями, а з їх врахуванням – суцільними. В процесі, що розглядається доречно виділити три часових інтервали, які пов'язані з МСП. Перший з них це розігрів від $\theta = \theta_0 = 20^\circ\text{C}$ до $\theta = A_{C1} \cong 780^\circ\text{C}$. В цьому інтервалі вихідна фаза не змінюється, тому всі криві на рисунку співпадають. Другий інтервал, пов'язаний з аустенізацією $\theta \geq A_{C1}$. Ця трансформація не суттєво впливає на напружений стан оскільки протікає при підвищених температурах, при яких матеріал розм'якшений.

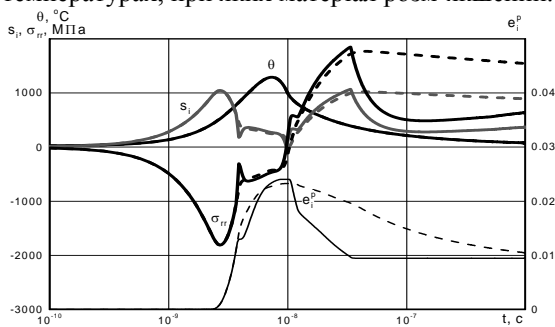


Рис. 1.

В третьому інтервалі має місце мартенситне перетворення, яке призводить до суттєвого зменшення розтягувальних напружень, а також інтенсивностей напружень і деформацій внаслідок збільшення об'єму матеріалу.

Відзначимо, що МСП блокують активний процес непружного деформування, тому з початку мартенситного перетворення має місце розвантаження (див. рис. 1). В розглянутому масштабі характеристик процес є суттєво квазістатичним, оскільки динамічна складова має значно менший рівень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сенченков И.К. Термомеханическая модель растущих цилиндрических тел из физически нелинейных материалов // Прикл. механика. – 2005. – т. 41, № 9. – С. 118–126.
2. Жук Я.О., Червінко О.П., Васильева Л.Я. Уточнена модель структурних перетворень в тонкому сталевому циліндрі при тепловому опроміненні торця // Доповіді НАН України. – 2007. – № 4. – С. 53–58.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА

Водка А.А., *Красников С.В., Трубаев А.И., Ульянов Ю.Н.

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
Харьков, Украина

Энергетика является одной из приоритетных областей научных исследований в Украине и

мировом сообществе. Несмотря на имеющиеся практические и научные решения в этой области остается еще много нерешенных проблем. Одной из них является эксплуатация и модернизация большинства существующих энергоблоков. Значительная их часть в мире и большинство на Украине близки к выработке проектного ресурса или уже его превысили. Благодаря высокому качеству изготовления и значительному запасу прочности отечественные энергоблоки остаются в рабочем состоянии. При этом на многих энергоблоках фиксируются повышенные уровни вибраций, которые превышают общепринятые в СНГ и мире нормативные параметры. Эксплуатацию таких энергоблоков проводят на основе специально для них созданных правил технической эксплуатации. Как правило, для подобных энергоблоков расчетные исследования основных вибрационных характеристик фундамента не проводились, что создает дополнительные сложности при ремонте энергоблока и его модернизации [1]. Этим определяется актуальность задачи исследования вибрационных характеристик фундамента турбоагрегата.

В представленной работе приводятся результаты расчетных и экспериментальных исследований собственных колебаний фундамента турбоагрегата мощностью 200 МВт. Энергоблок функционирует, но уже выработал свой проектный ресурс. Его эксплуатация на электростанции за последние десять лет регулярно сопровождается ремонтными работами на фундаменте. Математические расчеты вибрационных характеристик фундамента до этого не проводились.

Расчетные исследования были выполнены на основе метода конечных элементов. Основным разрешающим выражением для рассматриваемой задачи является система уравнений:

$$\mathbf{M}\{\ddot{\mathbf{q}}(t)\} + \mathbf{K}\{\mathbf{q}(t)\} = 0,$$

где \mathbf{M} – матрица масс, \mathbf{K} – матрица жесткости, $\mathbf{q}(t)$ – вектор перемещений.

При исследовании сходимости было создано несколько конечно-элементных моделей фундамента по ранее разработанным методикам [2], среди которых была выбрана модель, которая показана на рис. 1. Погрешность определения собственных частот с точки зрения математической сходимости расчетов менее 1%. Модель имеет граничные условия в виде жесткого защемления нижней плоскости. Влияние турбоагрегата учитывается системой распределенных масс.

Экспериментальные исследования проводились с помощью переносного низкочастотного многоканального измерительного комплекса вибраций Ультра-В1 [3]. С его помощью были получены диаграммы виброускорений, вибро-скоростей и виброперемещений в точках измерения вибраций. Диаграмма виброскоростей в одной из точек представлена на рис. 2. Как видно из этого рисунка, фундамент обладает плотным спектром

собственных частот, большая часть которых связана с резонансными процессами.



Рис.1. Конечно-элементная модель фундамента.

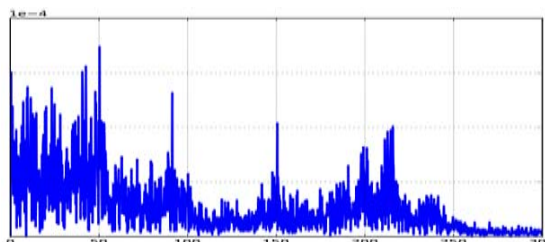


Рис.2. Амплитуды виброскорости (м/с) по значениям частот (Гц).

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 деградиционных 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 деградиацию 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 О в связанном с корпусом тела-носителя базисе описывается уравнениями