

# ЧАСТИНА III. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ДОСЛІДЖЕННЯХ НАДІЙНОСТІ

УДК 539.3

## ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ МОДАЛЬНОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Воробьев Ю.С. д.т.н., проф., Кулаков П.Н.**

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН  
Украины, г. Харьков*

*Работа посвящена выбору коэффициентов модального демпфирования для сложных пространственных конструкций с использованием метода конечных элементов. Данный подход может быть использован для прогнозирования прочности элементов турбонаддува сельскохозяйственной техники.*

### Вступление

В современной технике большой интерес представляют колебания сложных пространственных конструкций и их демпфирование. Эти проблемы приобретают особую актуальность для анализа вибрационного состояния системы турбина-фундамент-основание (ТФО), что в значительной мере определяет надежность работы турбоагрегатов. Наиболее податливым элементом системы из статорных частей турбоагрегата, есть цилиндр низкого давления (ЦНД), который часто вызывает повышение вибраций в опорах подшипников ротора.

Конструкции ЦНД разных турбоагрегатов однотипны по форме, но отличаются габаритными размерами и внутренними пропорциями в зависимости от мощности. Экспериментальные и теоретические исследования показали, что динамические характеристики изменяются в зависимости от конструкции ЦНД и фундамента [1, 2].

В первой половине 80-х годов ОАО «Турбоатом» приступил к выпуску ряда модифицированных ЦНД, в которых с целью улучшения аэродинамических качеств выхлопных патрубков вместо системы ребер жесткости в нижних половинах патрубков («сотовая» конструкция) применена система стержней («стержневая» конструкция). Такая конструкция оказалась подверженной вибрации, что определило актуальность данного исследования.

### Постановка задачи

Внешний корпус ЦНД (рис. 1) состоит из двух выхлопных патрубков, которые включают в себя верхние части 4 и нижние части 15 с сваренными в них картерами подшипников 5 и 9. ЦНД имеет горизонтальный разъем (А-А), что делит корпус на съемные верхнюю и нижнюю части. Вертикальный (Б-Б) – технологический разъем, который делит корпус на два выхлопных патрубка – сторону регулирования и сторону генератора, то есть корпус имеет две плоскости симметрии.

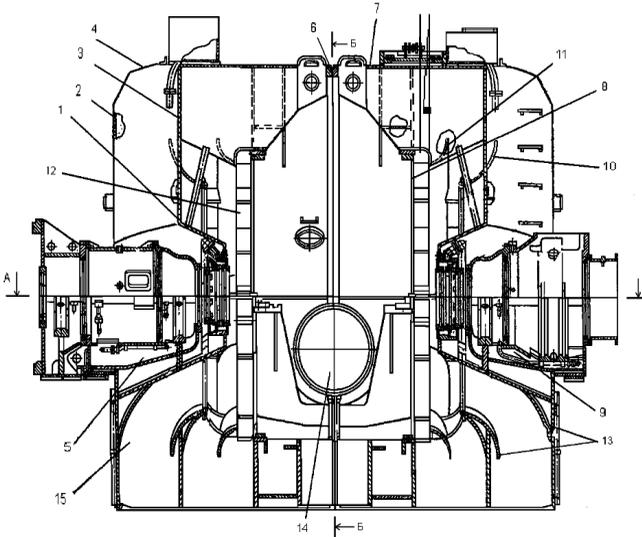


Рис. 1. Внешний корпус ЦНД: 1 - конус; 2 - торцевой лист; 3 - лист отверстия; 4 - верхняя часть выхлопного патрубка; 5, 9 - картеры; 6 - вертикальный фланец; 7 - обечайка; 8 - поперечный лист; 10, 12, 13 - направляющие листы; 11 - козырёк; 14 - отверстие; 15 - нижняя часть выхлопного патрубка

В данной работе строиться, трехмерная модель корпуса ЦНД с учетом геометрических особенностей, проводится расчет амплитудно-частотных характеристик. Для проведения сравнительных исследований вибрационных характеристик разработан алгоритм и программа визуализации данных для определения коэффициента модального демпфирования с учетом проведенных ранее натурных экспериментов АЧХ корпуса ЦНД К-320.

### Результаты численных исследований

Исследование амплитудно-частотных характеристик для «стержневых» конструкций ЦНД были проведены на основании построенной трехмерной параметрической модели[3,4].

Они определялись под действием единичной вертикальной нагрузки  $F = 1 \text{ Н}$ , приложенной в местах опирания подшипника, на встроенные опоры ЦНД. Коэффициент демпфирования указывали согласно нормативно технической документации.

На рис.2 показано сравнение амплитудно-частотных характеристик без учета демпфирования в сравнении с натурным экспериментом. Сопоставив экспериментальные и расчетные графики видно удовлетворительное совпадение значений по частотам, но достаточно большое расхождение полученных значений амплитуд. Исходя из этого, был проведен расчет с учетом демпфирующих свойств (рис.3). При учете демпфирующих свойств максимальные амплитуды существенно снижаются.

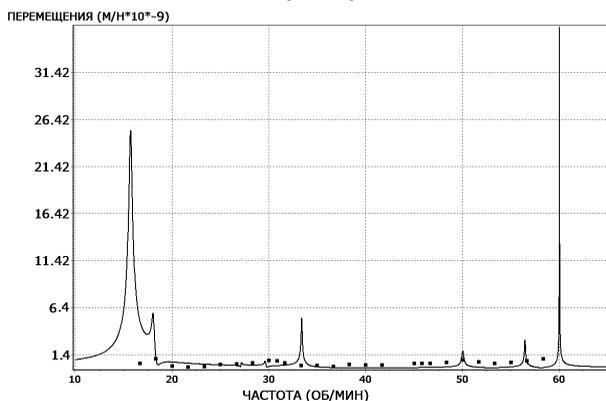


Рис.2. Амплитудно-частотные характеристики вертикальных перемещений под опорой подшипника для ЦНД К-320 без демпфирования

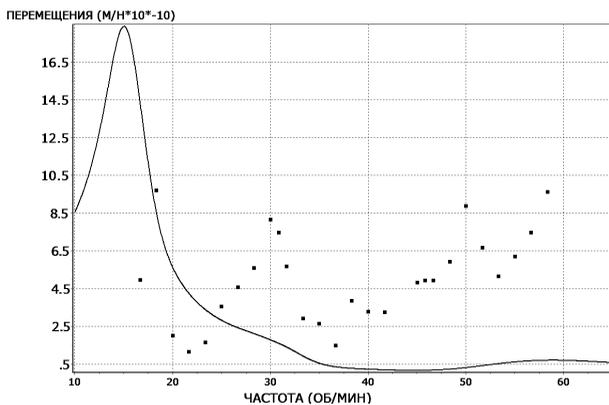


Рис.3. Амплитудно-частотная характеристика вертикальных перемещений под опорой подшипника для ЦНД К-320 с демпфированием

На рис.2,3 наблюдается большой разброс экспериментальных данных, обусловленный техникой проведения экспериментальных работ. Однако видно качественное подтверждение существенного снижения амплитуд перемещений при наличии демпфирования.

Формы колебаний ЦНД являются достаточно сложными. Собственная форма приведена в виде диаграммы перемещений на конечно-элементной модели деформированной конструкции, при этом интенсивность амплитуд перемещений отражена различными оттенками (рис.4). Они показывают, что наиболее интенсивные перемещения возникают в верхней части корпуса цилиндра низкого давления. При этом формы колебаний отражают соотношения амплитуд на данной собственной частоте, а не их реальное значение. Они приведены в масштабированном виде, чтобы можно было увидеть, какие элементы конструкции определяют данную собственную форму колебаний.

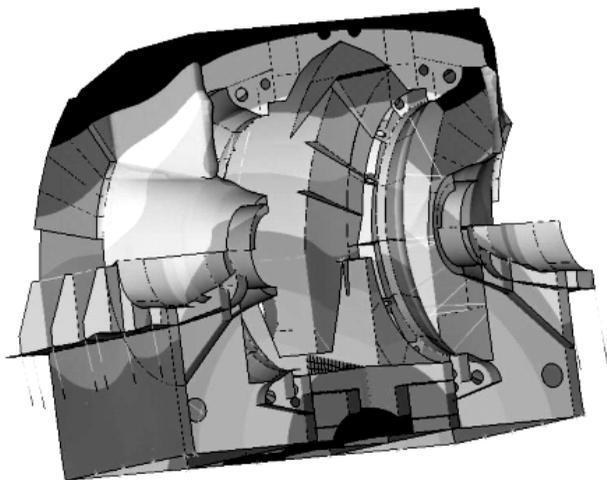


Рис.4. Третья собственная форма колебаний крышки ЦНД на частоте 18,101 Гц

### **Выводы**

Предложен подход к численному методу решения задачи выбора коэффициентов модального демпфирования для сложных пространственных конструкций. С использованием этого подхода были получены АЧХ цилиндра низкого давления без учета демпфирования и с учетом демпфирующих свойств. Показано, что демпфирование приводит к значительному снижению амплитуд перемещений в выбранных точках. Это способствует повышению динамической прочности турбоагрегатов.

Анализ полученных АЧХ показал удовлетворительное совпадение кривых по частотам, но достаточно большое расхождение полученных

значений амплитуд, что является закономерным, так как при расчете задается величина коэффициента демпфирования, общая для системы, но у каждого отдельного элемента системы оно свое, отличное от усредненного.

#### **Список использованных источников**

1. Рабинович Э.М., Виноградов Н.Н. Исследование деформационного состояния ЦНТ К-500-65/3000 в эксплуатации на ЛАЭС и ЦНТ К-220-44-3 на Кольской АЭС.(Часть II.Кольская АЭС).Отчет ЦКТИ, Л., 1989г.
2. Шульженко Н.Г., Воробьев Ю.С. Численный анализ колебаний системы турбоагрегат-фундамент. К.: Наукова думка, 1991г.-232с
3. Жовдак В.А., Степченко, А.С., Кабанов А.Ф., Красников С.В. Исследование динамики статорных частей турбин К-300-240 и К-325-23,5 ХТГЗ.// Проблемы машиностроения.-Харьков : "Контраст".-2001.-Т.4,№3-4.-С.4-12
4. Дудкина Е.Н., Степченко А.С. Моделирование типового ряда конструкций корпусов цилиндра низкого давления мощных паровых турбин: Часть I. Классификация и разработка структурной схемы. Вісник НТУ «ХП». Тематичний випуск Динаміка і міцність машин.–Харків: НТУ «ХП». – 2009.- №42. С.147-154.

#### **Анотація**

### **ВИБІР КОЕФІЦІЄНТІВ МОДАЛЬНОГО ДЕМПФУВАННЯ ДЛЯ СКЛАДНИХ ПРОСТОРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**Воробйов Ю.С., Кулаков П.М**

*Робота присвячена вибору коефіцієнтів модального демпфування для складних просторових конструкцій з використанням методу кінцевих елементів. Даний підхід може бути використаний для прогнозування міцності елементів турбонаддува сільськогосподарської техніки.*

#### **Abstract**

### **SELECTION FOR MODAL DAMPING COEFFICIENT OF THE COMPLEX SPATIAL DESIGNS**

**Vorobyov U.S., Kulakov P.N.**

*Is devoted to the choice of modal damping coefficients for the complex three-dimensional structures using the finite element method. This approach can be used to predict the strength of elements of turbo agricultural equipment.*