

УДК 621.4.621.56

А.А.Лебедев (асп., каф. КВХТ), Р.А.Измайлов, д.т.н., проф.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ КОМПРЕССОРЕ

Данной работа является продолжением цикла исследований нестационарных процессов в центробежных компрессорах, проводимых на кафедре КВХТ, с использованием новых методов обработки сигналов датчиков давлений посредством вейвлет-преобразования.

Для анализа была выбрана серия экспериментов [1], проведенных на модели первой ступени нагнетателя природного газа 395-21-1 ПО “Невский завод”. Рабочее колесо закрытого типа со следующими характеристиками:  $\Phi_p \approx 0,047$ ,  $\psi_n \approx 0,43$ ,  $D_2=363$  мм,  $b_2=25,3$  мм,  $\beta_{n2}= 22,5^0$ ,  $D_1=204,7$  мм,  $b_1=35$  мм,  $\beta_{n1}= 26^0$ ,  $z_2=12$ ,  $r/\delta = 0,25$ , с цилиндрическими лопатками постоянной толщины, очерченными дугами окружности. Неподвижные элементы модельной ступени образованы лопаточным диффузором ( $z_3 = 18$ ,  $D_3/D_2 = 1,163$ ,  $D_4/D_2 = 1,5$ ;  $b_3 = b_4$ ,  $\alpha_{n3} = 15^0$ ,  $\alpha_{n4} = 30^0$ ). Поворотное колено ступени выполнено плавно по дугам окружности с небольшой диффузорностью  $b_5/b_4=1,135$ . Лопатки ОНА ( $\alpha_{n5} = 33^0$ ,  $\alpha_{n6} = 90^0$ ,  $b_6/b_5 = 1$ ) имеют симметричную серповидную форму и очерчены дугами окружностей. Для получения измерительной информации применялась информационно-измерительная система кафедры КВХТ. Обработаны данные, полученные в результате 13 экспериментов. Во всех экспериментах ступень испытывалась при условных числах Маха  $M_u = 0,6$  и  $0,8$  (соответствующие окружные скорости  $u_2 = 206$  и  $275$  м/сек).

Как известно, явление вращающегося срыва наблюдается на левой ветви характеристики компрессора “напор – расход” вблизи от границы помпажа. Для процесса вращающегося срыва характерно возрастание амплитуды (по сравнению с предшествующим режимом) и характерное изменение частоты пульсаций давления, а также наличие фазовых сдвигов между сигналами от двух датчиков, расположенных на одном и том же диаметре, но разнесенных по угловой координате. Вращающийся срыв – это сравнительно низкочастотный процесс в абсолютном движении [2]. Срывные зоны медленно вращаются вокруг оси с частотой, не кратной частоте ротора. Анализ был проведен с помощью вейвлет-преобразования [3,5]. Его преимуществом является хорошая помехоустойчивость, слабое влияние скачков сигнала на результаты разложения, а также возможность использования большого числа функций для разложения.

Программы для обработки экспериментальных данных этой работы были написаны на языке “MATLAB version 6.5.0.180913a R13” и “Wavelet Toolbox version 2.2” [5]. При расчетах использовался биортогональный вейвлет “bior 1.5”.

В режиме предсрыва ( $\Phi=0,044$  или KZ1501-KZ1512) пульсации давления характеризуются наличием кратковременных периодических участков с периодом, близким периоду вращающегося срыва. Результаты вейвлет-преобразования в пространственных сечениях для разных глубин разложения показывают, что на картинах преобразованного сигнала виден низкочастотный периодический сигнал, который свидетельствует о появлении предсрыва, но сигнал сугубо не стационарный. Он плохо виден в исходном сигнале с датчиков, но отчетливо наблюдается после вейвлет-преобразования.

При режиме вращающегося срыва ( $\Phi=0,035$  или KZ1601-KZ1618) в сигналах от датчиков пульсаций давления проявляется периодическая составляющая, соответствующая прохождению зон срыва. На результатах вейвлет-преобразования в пространственных сечениях для разных глубин разложения четко виден срыв и низкопериодичный сигнал даже на датчиках, у которых присутствовала большая высокочастотная и высокоамплитудная

помеха. Особо следует отметить случай, когда исходный сигнал с датчиков был сильно искажен из-за сбоев АЦП но, несмотря на это, на них отчетливо наблюдается явление срыва.

В данной работе ставилась задача анализа возможности практического применения вейвлет-преобразования для обнаружения и исследования предпомпажного состояния в условиях ограниченности наблюдения и измерения в центробежном компрессоре. Применение предложенного метода вейвлет-преобразования сигнала для обработки сигнала с датчиков позволит расширить зону возможной работы центробежного компрессора за счет смещения границы срабатывания системы антипомпажной диагностики ближе к границе помпажа.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Анализ сигналов пульсаций в модели ступени нагнетателя магистрального газопровода: Отчет о НИР / СПбГТУ; руковод. работы Измайлов Р.А.; №306604/803-509. – СПб., 1996. – 38 с.
2. Измайлов Р.А. Нестационарные аэродинамические процессы в центробежных компрессорах: Дисс. докт.техн.наук. / ЛПИ им. Калинина. - Л., 1987. – 340 с.
3. Дремин И.М. Вейвлеты и их использование. – Успехи физических наук. 2001. т.171, №5, стр.465-501..
4. Чуи Ч. Введение в вэйвлеты: Пер. с англ. – М.: Мир, 2001,- 412с.
5. Потемкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x.: - М.: Диалог-МИФИ, 1999.