

УДК 621.4.621.56

А.В. Александров, Т.Е. Крутиков, Ш.А. Юсипов (аспиранты, каф. КВиХТ)
Р.А. Измайлов, д.т.н., проф.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АНТИПОМПАЖНОЙ ЗАЩИТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ И АНАЛИЗА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривается теоретическое обоснование внедрения системы антипомпажной защиты на основе диагностики возникновения вращающегося срыва в проточной части центробежного компрессора. Обнаружение вращающегося срыва дает возможность точного определения момента отключения компрессора до попадания его в помпаж. Следовательно, не возникает необходимости делать большие "уставки" по давлению или мощности при работе компрессорной установки. Характерным признаком вращающегося срыва является периодический характер сигнала пульсаций статического давления.

К настоящему моменту в практике компрессоростроения разработаны и используются системы антипомпажной защиты, основанные на так называемом параметрическом способе распознавания предпомпажного состояния компрессорной установки. "Классические" наработки систем такого класса имеют ряд существенных недостатков.

Способ, которым оперирует представленная система, относится к классу признаковых, что позволяет в достаточной степени упростить его техническую реализацию, а также существенно увеличить точность распознавания состояния объекта.

Предлагаемая признаковая методика распознавания предпомпажного состояния компрессора использует следующее исходное положение для построения схемы:

– в проточной части центробежного компрессора, в период предшествующий появлению помпажа в системе "компрессор – сеть" (при уменьшении расхода от оптимального значения), возникает явление так называемого "вращающегося срыва", следовательно, возможно построение системы на основе сигнала о возникшем вращающемся срыве.

Большой экспериментальный опыт, накопленный на кафедре компрессоростроения СПбГТУ в части диагностирования вращающегося срыва, позволяет делать выводы о том, что применение вышеизложенной методики более эффективно, с точки зрения реакции на диагностируемое явление, нежели применение "классических" параметрических способов анализа. Если же говорить о возможном расширении зоны безопасной работы установки, то необходимо заметить, что величина уставки, вводимая при диагностике с помощью измерения расхода, достаточно велика, и тем самым сужается зона допустимой работы по расходу, тогда как в случае с распознаванием состояния по вращающемуся срыву можно говорить о том, что реакция системы наиболее приближена к оптимальной.

В качестве объекта исследования, на основе экспериментальных данных, по которым и происходило исследование и отработка предлагаемой методики, была задействована проточная часть моделируемой первой ступени нагнетателя НЦ-16/76-1.44.

Структурная схема анализа данных предполагает наличие в схеме параллельного отслеживания данных, что представляется весьма эффективным. Созданная вычислительная система оперирует с двумя основными видами данных: "данными по медленно меняющимся величинам" и "временными" данными.

К первому виду данных относятся так называемые "компрессорные характеристики", анализ которых не представляет особой сложности для программной реализации и носит скорее информативный характер в расчетной части схемы анализа.

Естественно, что на этапе распознавания образов для принятия решения по отнесению сигнала к определенному виду, "данные по медленно меняющимся величинам" не являются основными. Однако присутствие их обработки в параллельной ветви алгоритма объясняется тем, что на начальных этапах диагностики система должна осуществлять отслеживание всех параметров с тем, чтобы обеспечить необходимую точность диагностирования и, как предельный случай — отсутствие "ложных" срабатываний.

Что касается алгоритмов использования системой "данных по медленно меняющимся величинам", то полная структура предусматривает наличие блока, поддерживающего организационную базу по этому виду данных.

Основная отработка ведется по "временным" данным, которые представляют собой осциллограммы пульсаций статического давления в проточной части центробежного компрессора. Схема обработки данных предполагает разработку соответствующего программного аппарата обработки сигналов.

Наиболее разработанным в данной области, безусловно, является спектральный анализ исходных сигналов. В основе данного способа анализа лежат стандартные процедуры преобразования Фурье. Достаточно простая вычислительно-программная реализация таких методов обработки позволяет построить сравнительно несложные и быстродействующие процедуры обработки выходных сигналов.

Среди используемых методов анализа необходимо выделить анализ на основе кратковременных автокорреляционных функций. Основу метода составляет использование свойств автокорреляционной функции для выявления скрытой периодичности сигнала, которая и свидетельствует о том, что данного вида реализацию возможно отнести к сигналу вращающегося срыва. Алгоритм содержит в своем составе блок распознавания характерной формы автокорреляционной функции, его поддержка выполнена на базе 'Fortran Power Station', а также в среде программирования 'MATLAB'.

Учитывая достаточно большой объем проведенных вычислений, возможно сделать выводы о "хорошей обнаруживаемости" явления на основе представленного анализа, кроме того необходимо заметить, что метод показывает приемлемость с достаточной степенью точности и для обнаружения явления локального отрыва или так называемого "предсрыва", что в свою очередь дает возможность более эффективно выстраивать алгоритм реакции системы на ситуацию.