

УДК 621.321

ДИАГНОСТИКА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Колос В.М., Чешун Ю.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Как показывает опыт эксплуатации паротурбинных установок, случаи обрывов рабочих лопаток последних ступеней цилиндра низкого давления (ЦНД) достаточно часты и сопровождаются значительными повреждениями оборудования, а в ряде случаев приводят к крупным авариям, ликвидация которых требует больших материальных затрат. Так, отрыв рабочих лопаток последней ступени ЦНД турбоагрегата 300 МВт ст. № 7 привел в 1990 году к пожару с обрушением кровли машинного отделения Сырдарьинской ГРЭС. Ущерб составил более 70 млн росс. рублей (в ценах 1990 года).

Причины таких повреждений различны. В том числе нарушения вызываются повышенной вибрацией. Это, например, усталостные трещины, разрыв демпферных связей и другое.

Предотвращение или снижение вероятности обрыва лопаток ЦНД мощных паровых турбин является актуальной и важной задачей.

В ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание эффективной системы контроля состояния рабочих лопаток турбомашин [1]. Система разработана под руководством к.т.н. Мандрыка Э.С. и к.т.н. Исакова Н.Ю. [1].

В основу метода диагностики рабочих лопаток положено определение изменения положения вершин лопаток как диагностического признака повреждения.

Рабочая лопатка находится в равновесном положении под действием центробежных и аэродинамических сил. Возникающее в процессе эксплуатации повреждение лопатки (усталостная трещина, нарушение связей и т.д.) изменяет ее механические характеристики, что неизбежно вызывает изменение положения этой лопатки.

Для реализации рассматриваемого метода используется микропроцессорная аппаратура, позволяющая с высокой точностью определять относительные положения вершины каждой лопатки ступени. В качестве исходных сигналов для аппаратуры являются электрические импульсные сигналы, генерируемые вершинами лопаток в датчиках № 1 и 2, установленных над лопатками (рисунок 1), а также сигнал датчика, дающего один импульс за оборот (Д0) [1].

Микропроцессорный измерительный комплекс (МИК) измеряет для каждой лопатки за оборот ротора величины временных или угловых интервалов a_i между сигналами от датчиков 1 и 2. Эти измерения МИК производит на достаточно большом числе оборотов (около 1500 об/мин) и выдает на цифровой индикатор для каждой лопатки осредненное значение a_i .

Первой лопаткой считается та лопатка, электрический импульс от которой следует первым после импульса от датчика Д0. Смещение вершины i -ой лопатки

от своего исходного положения на величину Δ приводит к соответствующему смещению i -го импульса и изменению значения a_i (рисунок 1).

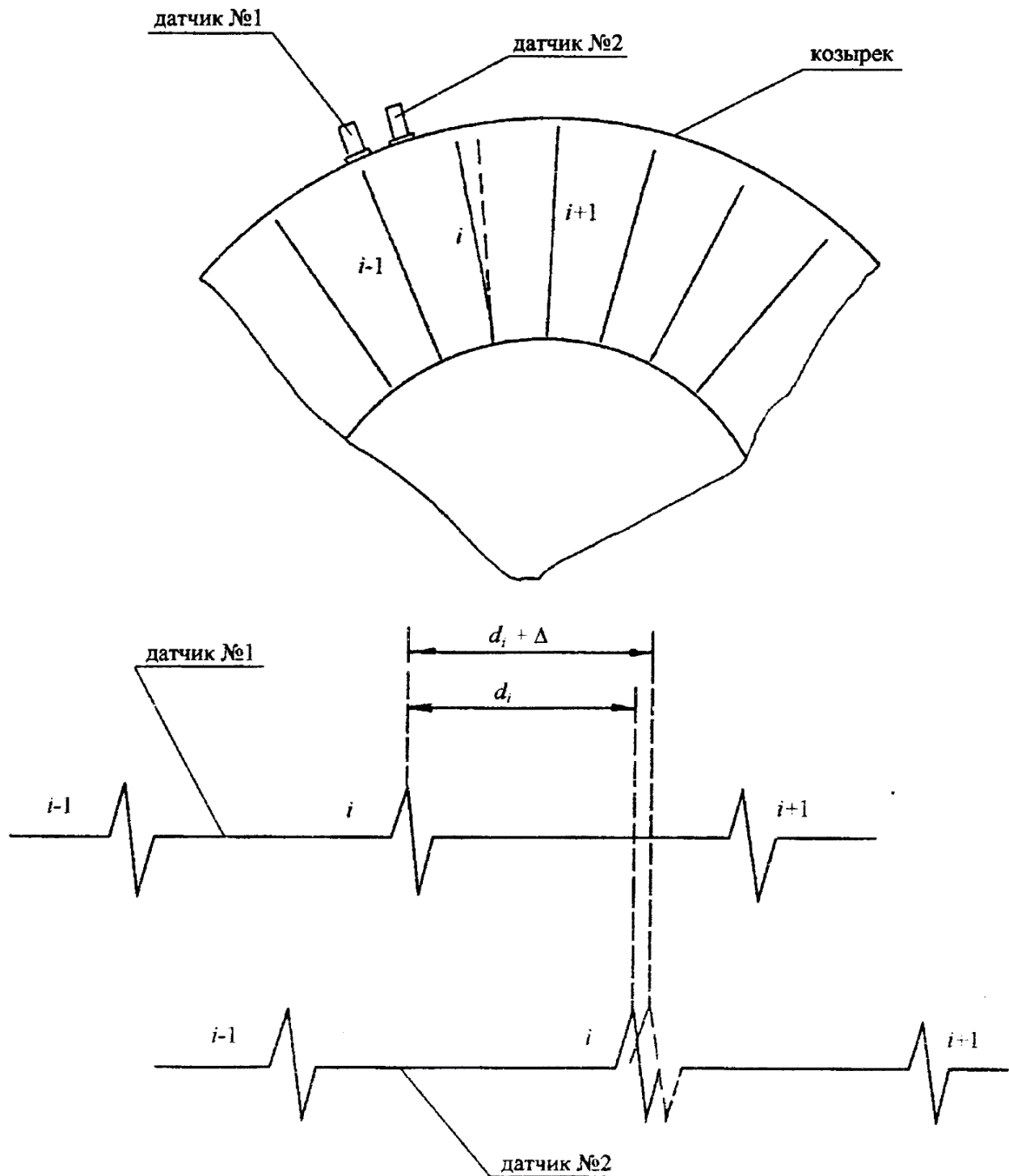


Рисунок 1 – Схема измерения относительного положения лопаток

В качестве единицы измерения угловых интервалов между электрическими импульсами взята $1:13072$ часть оборота, что составляет $0,000048$ радиана. Следовательно, если принять диаметр облопаченного диска равным 3500 мм, то изменение a_i на одну единицу соответствует смещению вершины лопатки на $0,084$ мм.

Выполненные расчеты и эксперименты в стендовых условиях [1] показали, что, например, повреждение лопатки в виде усталостной трещины величиной 25% длины хорды в прикорневой зоне вызывает перемещение вершины лопатки на величину, которая при указанной чувствительности микропроцессорного измерительного комплекса будет с гарантией зафиксирована.

Эффективность диагностирования во многом определяется стабильностью относительных положений лопаток при отсутствии их повреждений, которая может зависеть как от режимов работы турбины, так и от многих других факторов, включая стабильность условий расположения элементов связи лопаток в период непрерывной работы турбины, а также после ее остановов.

Оснащение турбины датчиками производится в соответствии с требованиями электростанции по количеству контролируемых потоков турбины. Тип установленных датчиков - индукционные, размер - диаметром 16 мм. Установка их производится в козырьках над вершинами лопаток с помощью специальных кронштейнов. Над каждой из контролируемых ступеней в плоскости вращения лопаток устанавливается по 2 датчика, расстояние между которыми по дуге равно примерно половине шага вершин лопаток. Для обеспечения герметизации провода от датчиков заводятся в медную трубку $\varnothing 4 \times 1$.

Трубки с проводами проложены по внутренней стенке корпуса выхлопа и через отверстия в корпусе выведены наружу. Внутри корпуса выхлопа трубки закреплены приварными скобами и для защиты их от эрозии закрыты козырьком, приваренным к внутренней стенке корпуса выхлопа. Места вывода трубок герметизируются с помощью герметика.

Измерительная схема включает в себя кнопочный коммутатор каналов, переключатель датчиков, три предусилителя, прибор МИК и катодный осциллограф (рисунок 2) [1].

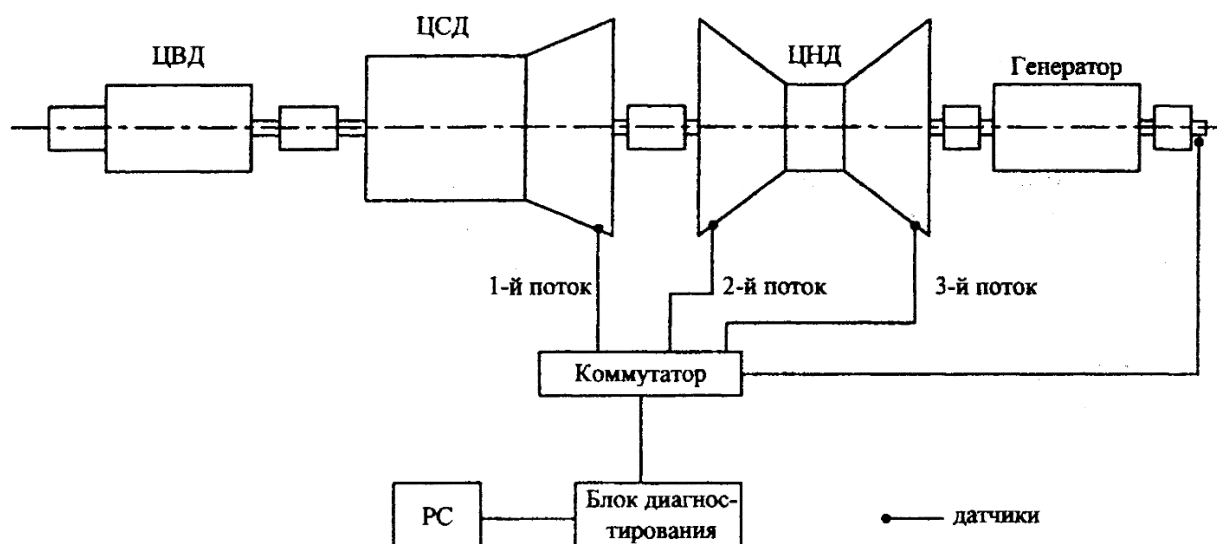


Рисунок 2 – Функциональная схема системы диагностики рабочих лопаток последних ступеней ЦСД-ЦНД турбины К-300-240 ЛМЗ

Коммутатор каналов служит для подключения к прибору датчиков любой из контролируемых ступеней рабочих лопаток.

Катодный осциллограф используется для визуального контроля. На его экране высвечиваются точки, число которых соответствует числу лопаток контролируемой ступени.

Значение измеряемых величин выдается на цифровой индикатор прибора МИК в угловых единицах (дискретах). Прибор имеет четыре измерительных масштаба (1:1; 1:2; 1:4; 1:8), наибольшая чувствительность соответствует масштабу 1:1. На этом масштабе одна единица (дискрета) на цифровом индикаторе соответствует 0,000048 радиана. Следовательно, при измерении относительных положений лопаток изменение в одну дискрету эквивалентно изменению положения вершины лопатки на 0,081 мм [1].

Литература

1. Повышение эффективности эксплуатации паротурбинных установок ТЭС и АЭС. Том 2. Диагностика паровых турбин / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др.; под ред. Хоменка Л.А. – СПб.: Изд. ПЭИпк, 2002. – 264 с.