Э. А. ДОН, Д. В. ТАРАДАЙ (АО «ВТИ») К. Е. БУГЛАЕВ (ЗАО «КоМЭНС»)

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ АБСОЛЮТНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РАСШИРЕНИЙ ТУРБОАГРЕГАТОВ (СДАРТ)

АННОТАЦИЯ

Система диагностики абсолютных температурных расширений корпусов цилиндров паровых турбин (СДАРТ) разработана для технологического контроля на ТЭС (в стационарном варианте) и для энергоремонтных предприятий (в переносном варианте) для мониторинга турбинного оборудования при пуско-остановочных режимах.

СДАРТ предназначена для оперативной, либо предремонтной оценки состояния оборудования при решении задач вибрационной надёжности, выявления причин отклонения штатных показателей механических величин от допускаемых Правилами Технической Эксплуатации значений, либо допусков, приведенных РД 34.30.506-90 (Методические указания по нормализации тепловых расширений цилиндров паровых турбин тепловых электростанций) с целью определения объёма и содержания восстановительных работ в условиях ремонта.

Нормализация тепловых расширений корпусов цилиндров паровых турбоагрегатов является одной из важных задач в энергетической отрасли [1]. Эти нарушения проявляются в скачкообразном перемещении корпусов подшипников (рис.1, а), повышенных кручениях поперечных ригелей фундаментов и наклонах корпусов подшипников, невозвращении цилиндров в исходное положение после полного остывания.

Причинами нарушений процесса расширения турбин служат коррозия и загрязнение поверхностей скольжения корпусов подшипников; повышенные противодействующие усилия от присоединенных трубопроводов; перекосы и защемления в поперечных шпонках, увеличение податливостей ригелей поперечных рам фундамента.

Наибольшую опасность для нормальной работы турбины представляет кручение ригелей и наклоны корпусов подшипников (рис.1, б). Под действием продольных сил, приложенных к поперечным шпонкам лап цилиндра, весь ригель поворачивается, что приводит к наклону фундаментной рамы и изменению взаимного положения опор. Происходит расцентровка роторов.

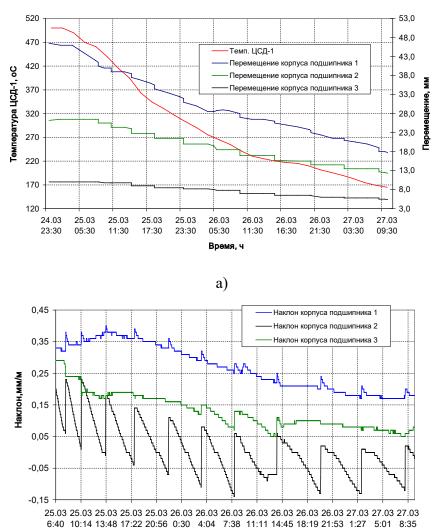


Рис.1. Измерения при помощи системы СДАРТ турбоагрегата 250 МВт при выводе в капитальный ремонт:

Время, ч

б)

а) перемещения корпусов подшипников; б) наклоны корпусов подшипников.

Для анализа тепловых расширений паровых турбоагрегатов ОАО «ВТИ» совместно с ЗАО «КоМэнс» разработал систему диагностики абсолютных температурных расширений корпусов цилиндров паровых турбин (СДАРТ). Система разработана для технологического контроля на ТЭС (в стационарном варианте) и для энергоремонтных предприятий (в переносном варианте) для мониторинга состояния турбинного оборудования при пуско-остановочных режимах. Система серийно выпускается с 1996 года.

В общем случае СДАРТ предназначена для оперативной либо предремонтной оценки состояния оборудования при решении задач обеспечения вибрационной надёжности, выявления причин отклонения штатных показателей механических величин от допускаемых Правилами Технической Эксплуатации значений, либо допусков, приведенных РД 34.30.506-90 (Методические указания по нормализации тепловых расширений цилиндров паровых турбин тепловых электростанций) с целью определения объёма и содержания восстановительных работ в условиях ремонта.

СДАРТ изначально разрабатывалась для применения ремонтными подразделениями энергосистем, при этом учитывались не только общетехнические условия эксплуатации, как температура среды, вибрация, влажность и т.п., но и специфика тепломеханического оборудования – возможность повреждения во время сбора диагностической информации, т.к. монтаж системы производится по временной схеме, а функционирование – без постоянного надзора персонала.

Основными диагностируемыми параметрами являются абсолютные температурные расширения корпусов цилиндров, наклоны стульев и ригелей. Данная система может применяться и для диагностирования несоосного смещения опор, связанных с закруткой ригелей и наклонами корпусов подшипников. Общее количество длительно контролируемых параметров может составлять до нескольких десятков.

На протяжении всего времени производства (с 1996 г.) система постоянно совершенствуется на основе накапливаемого опыта эксплуатации и применения современных электронных компонентов.

В настоящее время в отрасли эксплуатируется более 40 систем различных комплектаций.

Система построена на основе принципа распределенного сбора диагностической информации. Структура системы позволяет минимизировать затраты при монтажедемонтаже системы за счет сокращения количества связующих кабелей и повышает живучесть системы.

К отличительным особенностям СДАРТ можно отнести:

- применение для измерения физических величин функционально законченных измерительных каналов (ИК), содержащих первичные преобразователи (датчики), устройства обработки сигналов (нормирующие преобразователи) и соответствующие кабельные соединения;
 - возможность применения СДАРТ как в стационарном, так и в переносном вариантах;
 - возможность длительной работы в необслуживаемом режиме;
- возможность разнесения первичных преобразователей на значительные расстояния с использованием минимального количества кабелей;
- установку на нормирующем преобразователе, размещаемого рядом с датчиком, индикатора измеряемого параметра;
- устойчивость к внешним воздействиям со стороны окружающей среды и неквалифицированного обращения;

- устойчивость несанкционированным К кратковременным пропаданиям питания.

Для работы системы не требуется применение дополнительного вычислительного оборудования. Использование внешнего компьютера необходимо только для обработки собранной диагностической информации и проведения калибровочных работ, для которых поставляются специальные программные и технические средства, обеспечивающие настройки возможность проверки измерительных каналов системы силами эксплуатационного персонала.

Общая характеристика системы

Система представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для сбора, первичной обработки, отображения и временного хранения измерительной информации. Общая структура системы показана на рис.2.

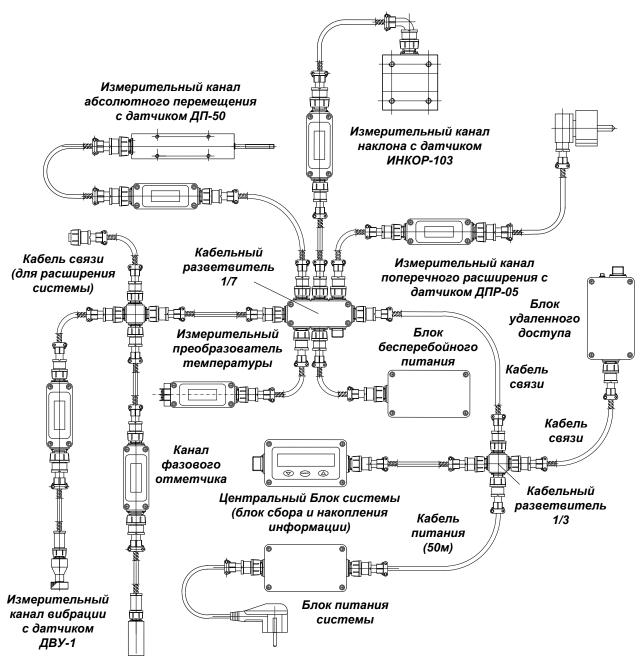


Рис.2. Структура системы СДАРТ

Система позволяет производить сбор и накопление информации, поступающей от измерительных каналов. При этом конкретный набор измеряемых величин может меняться в зависимости от решаемой задачи и определяется количеством и типом применяемых измерительных каналов (датчиков).

Система может формировать нормализованные аналоговые сигналы, соответствующие измеряемым параметрам.

Система может регистрировать (накапливать и хранить) измерительную информацию в течение более 100 суток. Накопленная информация записывается во внутреннюю память системы. Вся записанная информация имеет однозначную временную идентификацию. Для переноса накопленной информации во внешний компьютер используется USB FLASH накопитель («флешка»), либо прямое подключение посредством USB или RS485 интерфейсов.

Система позволяет регистрировать:

- наклоны стульев и ригелей турбоагрегатов;
- абсолютные тепловые перемещения опор подшипников турбоагрегатов;
- тепловые расширения цилиндров турбоагрегатов в поперечных шпонках;
- температуру металла турбоагрегатов;
- амплитуду виброперемещения.

Система содержит:

- измерительные каналы, включающие первичные преобразователи измеряемых величин (датчики), нормирующие преобразователи (НП – устройства согласования, преобразования сигналов первичных преобразователей, отображения и передачи измеряемых параметров), и соответствующие кабели.

Нормирующие преобразователи ИК обеспечивают гальваническую развязку формируемых выходных сигналов от электрических цепей первичных преобразователей.

Измерительные каналы могут быть оборудованы формирователем стандартного аналогового сигнала 4–20 мА.

- центральный блок системы (ЦБС) устройство сбора, отображения и хранения измерительной информации;
- блок питания системы, обеспечивающий запитывание системы стабилизированным напряжением, соответствующим требованиям техники безопасности при работе на тепломеханическом оборудовании.

Система может комплектоваться блоком питания с резервным источником напряжения.

- кабели и коммутационные устройства для установки системы на турбоагрегате;
- технологическая оснастка для установки первичных преобразователей на объекте;
- программное обеспечение, обеспечивающее визуализацию, анализ и документирование результатов измерений;
 - оборудование для поверки и калибровки.

В основу системы положен принцип распределённого сбора измерительной информации с передачей её в цифровом виде по единой линии связи, имеющей топологию типа "шина".

Нормирующие преобразователи измерительных каналов соединяются с центральным блоком системы четырехпроводной линией связи, содержащей цепи низковольтного питания (=24B) и магистраль передачи данных, соответствующую стандарту RS485.

Все соединения выполняются однотипными кабелями через пассивные разветвители с разъемами, исключающими самопроизвольное разъединение. Кабели имеют стандартную длину 5 м и заключены в металлорукав.

СДАРТ имеет универсальную систему питания, обеспечивающей функционирование системы как от сети переменного или постоянного тока напряжением 150–260 В, так и от низковольтной сети переменного или постоянного тока напряжением 9–36 В.

Блок питания системы может быть оборудован модулем бесперебойного питания, обеспечивающим работоспособность системы при кратковременных (до 6 часов) перебоях основного питания. Малая мощность, потребляемая измерительными каналами, позволяет использовать малогабаритные аккумуляторы, которые не сильно увеличивают массогабаритные характеристики системы.

Система не предъявляет каких-либо особых требований к монтажу на турбоагрегате, поскольку все ее элементы имеют защищенное исполнение, соответствующее степени защиты IP54.

Применение современной элементной базы позволило максимально уменьшить размеры нормирующих преобразователей, в настоящий момент габариты преобразователей определяются индикаторами измеряемой величины, и дальнейшее их уменьшение нецелесообразно с точки зрения эргономики.

Совершенствование системы направлено на уменьшение массогабаритных характеристик ИК, улучшение метрологических характеристик системы, повышение стабильности и линейности преобразования в условиях повышенной температуры окружающей среды. Это достигается развитием программ обработки сигналов и совершенствованием конструкции датчиков.

Особенностью последних модификаций СДАРТ является:

- расширение максимального количества ИК в системе до 32 без применения активных повторителей линии связи, при этом максимально возможное количество (теоретическое значение, при условии применения активных повторителей линии связи) ИК в системе может достигать 255:
- применение уникальных датчиков наклона ИНКОР-1031, использующих твердотельный первичный преобразователь. Датчики ИНКОР-1031 не имеют подвижных элементов, вследствие чего чрезвычайно устойчивы к внешним механическим воздействиям, кроме того, датчики имеют уменьшенные габариты (60×60×80 мм) и являются необслуживаемыми приборами; В датчике ИНКОР-1031 применена модифицированная технология крепления первичного преобразователя к корпусу, что позволило существенно улучшить вибрационные характеристики прибора, особенно в области низких частот.
 - применение малогабаритных датчиков поперечного расширения;
- применение универсальных НП температуры, обеспечивающих возможность подключения как термоэлектрических преобразователей (термопар), так и термометров сопротивления разных типов;
- применение в составе системы каналов измерения вибрации, оборудованного малогабаритным датчиком вибрации (виброускорения), канала фазового отметчика, способного работать на все ИК вибрации в системе;

- применение в составе системы блока удаленного доступа, в том числе беспроводного, обеспечивающего возможность оперативного контроля сбора информации в процессе проведения измерений и интеграции системы в локальные сети АСУ энергоблоков.

Кроме того, при использовании блока бесперебойного питания, блок удаленного управления позволяет осуществлять контроль наличия основного питания системы с формированием SMS-сообщений о при возникновении перебоя питания и критическом остатке времени работы системы;

- практически не ограниченное время регистрации;
- автоматическая, программируемая перезапись накопленной информации на внешний USB-накопитель, при использовании блока бесперебойного питания;

Ввиду существенных изменений, внесенных в протокол обмена информацией по шине системы, измерительные каналы СДАРТ выпущенные после 2018 года не совместимы с ранее выпускавшимися системами.

Оборудование системы

Для измерения величин угла наклона, перемещения и вибрации в составе ИК СДАРТ применяются датчики собственного изготовления.

Все датчики предназначены для работы в «жестких» условиях (выдерживают падения, удары и т.п.).

Для измерения температуры наружной поверхности корпуса цилиндра турбины может использоваться стандартный термоэлектрический преобразователь (термопара) любого типа.

Датчики наклона выполнены на основе твердотельного датчика и не содержат внутренних подвижных элементов, имеют оригинальную неразборную конструкцию.

Датчики перемещения представляют собой дифференциальный трансформатор с подвижным штоком.

Датчик вибрации реализован на основе твердотельного акселерометра.

Нормирующие преобразователи ИК имеет герметизированный литой металлический корпус, допускающий «незакрепленное» использование устройства, и оборудован индикатором измеряемой величины.

Для стабилизации температурных характеристик ИК используется специальный алгоритм программной обработки сигналов первичного преобразователя датчика.

НП обеспечивает гальваническую развязку схем обработки сигналов первичного преобразователя от цепей питания, передачу информации и формирование выходного аналогового сигнала (тока).

Нормирующий преобразователь не имеет механических регулирующих элементов; настройка и калибровка измерительного канала производиться путем записи соответствующих коэффициентов в память прибора.

Внешний вид нормирующего преобразователя показан на рис. 3.

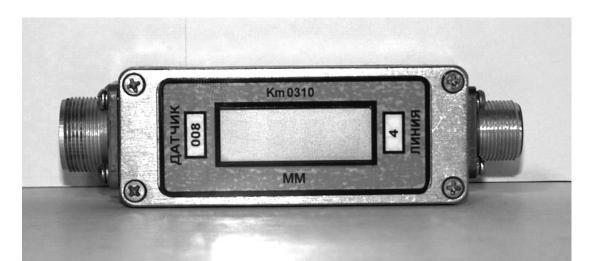


Рис. 3. Нормирующий преобразователь

Измерительный канал наклона

Измерительный канал наклона содержит датчик наклона типа ИНКОР-1031, нормирующий преобразователь, сигнальный кабель и кабель связи. Кабели измерительного канала заключены в металлорукав. Внешний вид датчика ИНКОР-1031 показан на рис. 4.

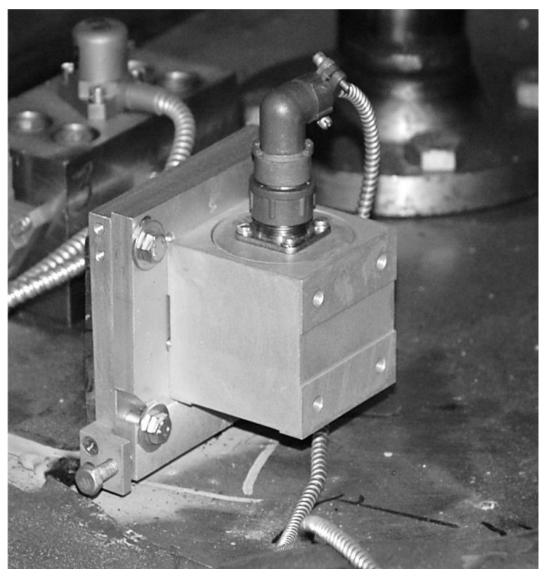


Рис. 4. Датчик наклона ИНКОР-1031

ИК наклона обеспечивает измерение наклона в диапазоне ± 5 мм/м с разрешением 0.01 мм/м и пределом основной погрешности 4% при температуре среды, окружающей датчик, до 125° С. Датчик не чувствителен к поперечному наклону до ± 15 мм/м.

Датчик имеет неразборную конструкцию, чувствительный элемент датчика помещен в прочный фрезерованный корпус, который исключает возможность повреждения устройства в процессе эксплуатации и способствует выравниванию температурных полей, что улучшает температурные характеристики прибора.

В комплект ИК входят установочные приспособления, корректирующее положение датчика при установке на оборудовании. Конструкция датчика позволяет производить его установку, как на вертикальные, так и на горизонтальные поверхности.

Измерительный канал абсолютного расширения

Измерительный канал абсолютного расширения содержит индуктивный датчик перемещения типа ДП-50, нормирующий преобразователь, сигнальный кабель и кабель связи. Кабели измерительного канала заключены в металлорукав. Внешний вид датчика ДП-50 показан на рис. 5.



Рис. 5. Датчик перемещения ДП-50 (на калибровочном столе)

ИК абсолютного расширения обеспечивает измерение перемещения в диапазоне ± 25 мм с разрешением 0.1 мм и пределом основной погрешности $2\,\%$ при температуре окружающей датчик среды до $100\,^{\circ}\mathrm{C}$.

Датчик имеет традиционную для датчиков этого типа конструкцию, использующую дифференциальный трансформатор и сердечник, закрепленный на свободно перемещающемся штоке из немагнитного материала.

Датчик имеет монолитный фрезерованный герметичный корпус. Благодаря малому поперечному сечению и небольшой длине датчик легко устанавливается на контролируемом оборудовании.

Для облегчения оперативной установки в мобильном варианте исполнения ИК комплектуется набором магнитных присосок.

Отмеченные выше малые размеры датчика перемещения достигнуты благодаря применению программной линеаризации характеристики преобразования, осуществляемой процессором нормирующего преобразователя ИК.

Нормирующий преобразователь измерительного канала абсолютного перемещения реализует специальный алгоритм обработки сигналов датчика, снижающий температурную зависимость характеристики преобразования.

Измерительный канал поперечного расширения

Измерительный канал поперечного расширения содержит индуктивный датчик перемещения типа ДПР-05 в сборе с сигнальным кабелем, нормирующий преобразователь, и кабель связи. Кабели измерительного канала заключены в металлорукав. Внешний вид датчика ДПР-05 показан на рис. 6.



Рис. 6. Датчик поперечного расширения ДПР-05

ИК поперечного расширения обеспечивает измерение перемещения в диапазоне $\pm 2,5$ мм с разрешением 0.01 мм и пределом основной погрешности 2 % при температуре корпуса до 150 °C.

Датчик имеет конструкцию, использующую дифференциальный трансформатор и сердечник, закрепленный на перемещающемся штоке из немагнитного материала.

Корпус датчика установлен в термоизолирующую обойму, ограничивающую разогрев датчика при закреплении на лапе цилиндра туброагрегата.

Для облегчения монтажа на оборудовании шток датчика подпружинен и не требует закрепления.

Корпус датчика и термоизолирующая обойма могут быть выполнены из нержавеющей стали (по согласованию с заказчиком).

Нормирующий преобразователь измерительного канала поперечного расширения реализует специальный алгоритм обработки сигналов датчика, снижающий температурную зависимость характеристики преобразования.

Линеаризации характеристики преобразования осуществляется процессором нормирующего преобразователя ИК.

Измерительный канал вибрации и канал фазового отметчика.

Измерительный канал вибрации содержит одноосевой твердотельный датчик виброускорения (акселерометр) ДВУ-1, нормирующий преобразователь, сигнальный кабель и кабель связи. Кабели измерительного канала заключены в металлорукав.

Внешний вид датчика ДВУ-1 показан на рис. 7.

ИК вибрации обеспечивает измерение виброперемещения в диапазоне до 100 мкм с разрешением 0.1 мкм и пределом основной погрешности 4 % при температуре корпуса до 125 °C.



Рис. 7. Датчик вибрации ДВУ-1

Для оперативной установки на оборудовании датчик ИК комплектуется магнитной присоской.

Канал фазового отметчика (КФО) представляет собой нормирующий преобразователь, предназначенный для работы со стандартными фазовыми отметчиками. КФО может обеспечивать все ИК вибрации в системе синхросигналом по линии передачи данных системы без дополнительных кабельных соединений.

ИК вибрации, в общем случае не предназначен для проведения вибродиагностики турбоагрегата, а служит для получения дополнительной информации при анализе параметров теплового расширения.

Измерительный канал температуры

Измерительный канал температуры содержит нормирующий преобразователь температуры и кабель связи, заключенный в металлорукав. ИК температуры обеспечивает

измерение температуры металла турбоагрегата в диапазоне от 0 до 600° С с разрешением 1° С и пределом основной погрешности 1° М.

НП температуры могут быть настроены для использования любых стандартных термопар. Внешний вид НП температуры показан на рис. 8.

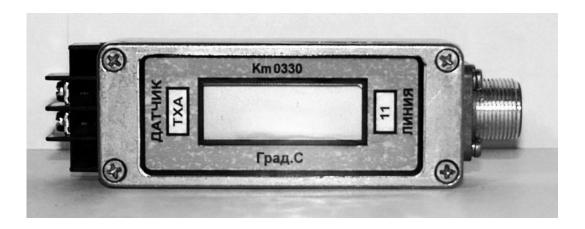


Рис. 8. НП температуры.

Центральный блок системы

Центральный блок системы осуществляет опрос ИК, считывание и сохранение измерительной информации. Особенностью СДАРТ является то, ЦБС, представляющий собой основной интегрирующий ИК элемент, является одним из самых дешевых компонентов системы.

Применение нескольких ЦБС повышает гибкость системы, позволяя легко увеличивать количество применяемых ИК, либо дробить систему на несколько, используя ограниченное количество ИК.

Установка режимов работы ЦБС осуществляется при помощи трехкнопочной клавиатуры. Для индикации режимов работы и контроля измеряемых параметров ЦБС оборудован ЖК-индикатором.

ЦБС может регистрировать (накапливать и хранить) измерительную информацию в течение более 100 суток. Накопленная информация записывается во внутреннюю память системы. Вся записанная информация имеет однозначную временную идентификацию.

ЦБС имеет дублированный внутренний накопитель данных.

Для переноса накопленной информации во внешний компьютер используется USB FLASH накопитель («флешка»), либо прямое подключение посредством USB или RS485 интерфейсов.

Алгоритм работы ЦБС обеспечивает автоматическое восстановление режима работы при восстановлении напряжения питания (после прерывания или отключения) и исключает случайное изменение режимов в процессе опроса измерительных каналов.

Алгоритм работы ЦБС обеспечивает автоматическую коррекцию (фильтрацию) измерительной информации с целью исключения случайных выбросов и заведомо недостоверных отсчетов.

ЦБС производит регистрацию с устанавливаемым интервалом, от 1 до 99 секунд.

ЦБС рассчитан на подключение до 256 измерительных каналов, при этом тип ИК может быть любым.

ЦБС имеет герметизированный литой металлический корпус, аналогичный корпусу НП, но несколько большего габарита.

ЦБС является устройством, предназначенным для сбора и накопления информации, поэтому система может функционировать и без него в режиме отображения значений измеряемых величин.

Программное обеспечение.

ЦБС производит запись накопленной информации на внешний USB-накопитель в специальном формате. Для «распаковки» информации используется с небольшая программа, которая обеспечивает формирование текстовых файлов данных, доступных для обработки (просмотра и редактирования) любым стандартным программным обеспечением.

Анализ накопленной информации может быть осуществлен любым доступным пользователю программным продуктом.

Наиболее распространенным способом преобразования текстовых файлов данных является их импортирование в Excel.

Для настройки параметров работы системы, контроля питания и удаленного управления в комплекте системы поставляется отдельная программа.

В комплекте системы может поставляться специализированная программа оперативного контроля накопленной информации и обработки результатов измерений.

Программа предназначена для оперативной визуализации результатов измерений системы и их детального исследования, позволяет отображать зависимости измеренных параметров не только от времени, но и друг от друга. Эта особенность позволяет воспроизводить характерные зависимости расширения от температуры в соответствии с требованиями РД.

Программа дает возможность производить вырезку интересующих фрагментов зависимостей, осуществлять масштабирование, фильтрацию помех и математическую обработку графиков.

В программе используется функция курсора, которая позволяет точно считывать и отображать одномоментные значения различных зависимостей.

Программа имеет стандартные для Windows возможности по форматированию, оформлению и документированию (распечатке) получаемых графиков.

Отдельно следует отметить алгоритм и программу, позволяющие вести контроль параметров абсолютного теплового расширения цилиндров турбины в реальном времени. Данная программа позволяет работать как с автономными системами, так и с информацией, извлекаемой из баз данных АСУ блоков.

Помимо текущей и предупредительной информации, предоставляемой дежурному персоналу и эксплуатационным цехам, программа может обеспечить документирование и анализ состояния теплового расширения турбины на основе ранее полученных «нормальных» зависимостей и формировать рекомендации для оценки работы машины «по текущему состоянию» по прошествии пуска либо останова.

Калибровочное оборудование.

В комплекте системы поставляются средства для настройки и калибровки измерительных каналов.

Для проведения настройки измерительных каналов используется специальный кабель для подключения ИК к USB-порту персонального компьютера и соответствующее программное

обеспечение, с помощью которого можно определять тип ИК, устанавливать номер канала в системе, изменять калибровочные параметры нормирующих преобразователей.

Для настройки ИК наклона необходимо использовать синусную линейку (рис.9) - устройство, позволяющее задавать измеряемую физическую величину (наклон корпуса датчика).

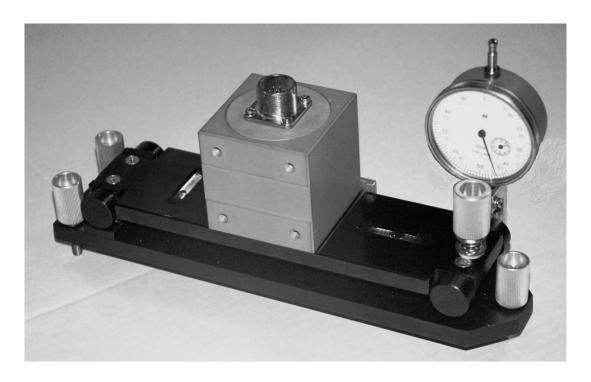


Рис. 9. Синусная линейка с установленным датчиком ИКОР-103.

Для настройки ИК поперечного расширения необходимо использовать калибровочное приспособление (рис.10) - устройство, позволяющее задавать малые перемещения штока датчика.

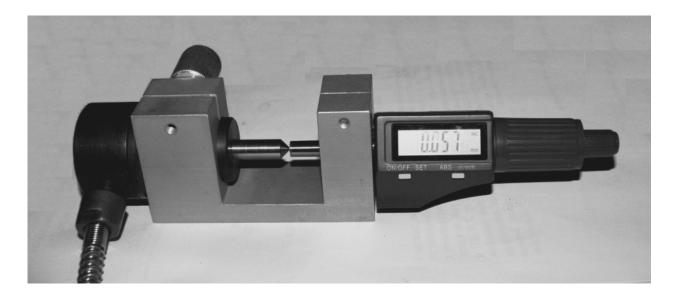


Рис.10. Калибровочное приспособление датчика паперечного расширения ДПР-05.

Для настройки ИК абсолютного перемещения достаточно использовать стандартный штангенциркуль, желательно с цифровым отсчетом, для ускорения процесса.

Для настройки ИК температуры необходимо использовать соответствующий имитатор сигналов термопар.

Настройка ИК вибрации может производится при наличии соответствующего оборудования (вибростенда), которое в комплекте системы СДАРТ на поставляется.

Дополнительное оборудование

На основе технологий, применяемых при изготовлении датчика наклона типа ИНКОР-103, разработан и производится электронный брусковый уровень, позволяющий производить измерения абсолютного значения величины малого угла наклона плоских и цилиндрических поверхностей относительно горизонта, УБЭ5-150. Внешний вид уровня показан на рис. 11.

При измерении наклона плоских поверхностей уровень базируется на плоские поверхности основания, при измерении наклона цилиндрических поверхностей — на призматическую канавку основания. Длина базовой поверхности составляет 150 мм

Для фиксации на базовой поверхности уровень оснащен съемными магнитными держателями.

Для индикации измеряемой величины использован 4-х разрядный индикатор.

Метрологические характеристики уровня аналогичны датчику ИНКОР-103.

Уровень имеет батарейное питание. Время непрерывной работы от одной батареи составляет не менее 100 часов.

Максимально допустимая температура основания составляет +125 °C.

Габаритные размеры (без магнитных держателей) – $150 \times 55 \times 45$ мм. Масса – 400 г.



Рис. 11. Электронный брусковый уровень УБЭ5-150

Список литературы

- 1. РД 34.30.506-90. Методические указания по нормализации тепловых расшире¬ний цилиндров паровых турбин тепловых электростанций.
- 2. Технические условия. ТУ 4012-001-41120035-08 (КМБУ.421.411.004 ТУ). Система диагностики абсолютных температурных расширений цилиндров паровых турбин (СДАРТ).