



РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЗА ТЕРМОНАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ КОРПУСА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Асп. Кляйнок И.Ю.^{1,2}, к.т.н. Голошумова В.Н.^{1,2}, д.т.н. Бродов Ю.М.¹ (Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина – ЗАО “Уральский турбинный завод” (г. Екатеринбург))

АННОТАЦИЯ. Представлена электрическая часть системы регулирования и защиты паровых турбин ЗАО “УТЗ”, реализуемая на базе современных промышленных контроллеров. Показано, что система регулирования и защиты паровой турбины может принимать на себя функции диагностики и контроля термонапряженного состояния корпуса ЦВД.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: температурные напряжения, регрессионная зависимость, оперативный контроль, электрическая часть системы регулирования и защиты, контроллер, алгоритмы.

Статистическая обработка результатов исследования теплового и термонапряженного состояния корпуса ЦВД паровой турбины Т-53/67-8,0 ЗАО “УТЗ” (УТЗ) для ПГУ-230 [1] позволила получить приближенные зависимости, устанавливающие стохастическую связь между температурными напряжениями в “критических” элементах корпуса ЦВД и разностями температур в его характерных точках [2]. В частности, установлено, что на температурные напряжения в зоне радиусного перехода стенки корпуса (рис. 1, зона “А”) наибольшее влияние оказывают разности температур по толщине стеки ($\Delta t_{ct} = t_1 - t_2$) и по оси корпуса ($\Delta t_{oc} = t_1 - t_3$). На основе этого получена регрессионная зависимость, позволяющая вычислять температурные напряжения в зоне “А”:

$$\sigma_{\text{пер}}^A = \beta_0 + \beta_1 \Delta t_{ct} + \beta_2 \Delta t_{oc} + \beta_3 \Delta t_{ct}^2 + \beta_4 \Delta t_{oc}^2 + \beta_5 \Delta t_{ct} \Delta t_{oc},$$

где β_0 – свободный член уравнения; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – коэффициенты влияния составляющих температурного поля.

Установлено, что погрешности вычисления температурных напряжений по данной зависимости не превышают $\pm 20\%$.

Полученная регрессионная зависимость достаточно проста, не требует больших вычислительных ресурсов и может быть использована для построения цифровых систем контроля и управления как вновь создаваемых, так и модернизируемых паровых турбин. Авторами планируется использовать данную зависимость в алгоритмической структуре электрической части системы регулирования и защиты (ЭЧСРиЗ) паровой турбины в качестве основной информации о термонапряженном состоянии корпуса ЦВД.

ЭЧСРиЗ выполняется на базе программируемых логических контроллеров и средств вычисли-

тельной техники. Однако, поскольку УТЗ не имеет собственного производства микропроцессорных устройств, данная аппаратура заказывается у сторонних организаций. При этом основной задачей становится разработка технического задания на алгоритмы управления и защиты, адекватно описывающее все эксплуатационные режимы работы паровой турбины с учетом функциональных возможностей каждого конкретного контроллера и особенностей его программирования.

Согласно международному стандарту МЭК 1131-3 существует пять языков программирования для логических контроллеров:

- язык инструкций (Instruction List) – входной язык, аналогичный ассемблеру; написанная в нем программа представляет собой список последовательно выполняемых команд, которые адаптируются к задачам управления;
- релейно-контактная схема (Ladder Diagrams) – графический язык программирования, при котором на экране программатора составляется схема, аналогичная принципиальной электрической релейной схеме, и с помощью специальных программ в программаторе или контроллере создается управляющая программа;
- схема функциональных блоков (Function Block Diagram) – графический язык программирования, при котором на экране программатора составляется схема, аналогичная принципиальной электрической схеме на логических элементах;
- последовательно-функциональная схема (Sequential Function Chart) – графический язык программирования, аналогичный блок-схеме алгоритмов;
- язык структурированного текста (Structured Text) – язык, аналогичный языку Pascal.

В связи с этим УТЗ разработан универсальный подход к описанию алгоритмов управления и защиты паровой турбины, позволяющий сотрудничать с различными поставщиками микропроцессорной техники без значительной переработки технического задания.

Согласно техническому заданию УТЗ алго-

¹ 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19

² 620017, г. Екатеринбург, ул. Фронтových бригад, 18

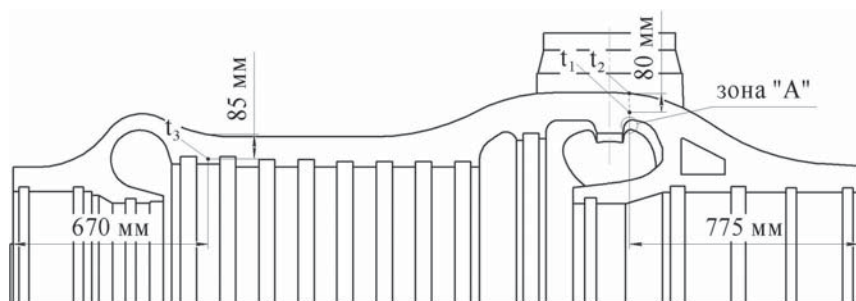


Рис. 1. Точки измерения температур металла в стенке корпуса ЦВД.



Рис. 2. Алгоритмическая структура ЭЧСРиЗ паровой турбины.

ритмическая структура ЭЧСРиЗ представляет собой ряд взаимодействующих между собой модулей и регуляторов, составленных из отдельных “логических ветвей” и направленных на выполнение операций регулирования и защиты турбины.

На рис. 2 схематично показана алгоритмическая структура ЭЧСРиЗ паровой турбины УТЗ.

В контроллер поступают входные сигналы и сигналы управления, в результате чего на выходе из контроллера формируются сигналы для исполнительных механизмов, что в конечном счете приводит к перемещению регулирующих органов турбины (стопорных и регулирующих клапанов, поворотных регулирующих диафрагм).

Контроллер представляет собой вычислительное управляющее устройство, построенное на основе микропроцессора [3]. По функциональным признакам в контроллере можно выделить следующие основные элементы:

- центральный процессор, предназначенный для выполнения команд управляющей программы и обработки данных, размещенных в памяти;

- память контроллера с жестким распределением областей для размещения различных типов данных;
- процессоры ввода/вывода, обеспечивающие обмен информацией между модулями ввода/вывода и соответствующими областями памяти;
- процессоры связи, предназначенные для обслуживания каналов связи контроллера с программаторами, с ведущей ЭВМ, с другими контроллерами или локальными вычислительными сетями;
- модули ввода, обеспечивающие прием и первичное преобразование информации от датчиков объекта управления;
- модули вывода, предназначенные для выдачи управляющих сигналов на исполнительные устройства объектов управления.

В качестве входных сигналов используются сигналы датчиков, необходимых для реализации заложенных алгоритмов управления и защиты паровой турбины, а также сигналы из АСУТП ПГУ, электроцеха и др. [4 – 6].

Сигналы управления подаются оперативно-техническим персоналом и необходимы для реализации эксплуатационных режимов работы паровой турбины: взведение/посадка стопорных клапанов, включение/выключение регуляторов, проверка защит и др.

Под исполнительными механизмами понимаются соленоидные клапаны, необходимые для управления гидравлическими элементами системы защиты турбины и электрические приводы, необходимые для управления сервомоторами регулирующих клапанов и диафрагм [4 – 6].

В общем случае паровая теплофикационная турбина УТЗ будет иметь следующие основные регуляторы:

- регулятор частоты вращения ротора турбины;
- регулятор мощности паровой турбины;
- регулятор давления свежего пара перед турбиной;
- регулятор положения сервомоторов регулирующих клапанов и диафрагм;
- регулятор давления пара в отопительном отборе турбины.

Также ЭЧСРиЗ реализует защиту турбины от разгона по средствам трехканального автомата безопасности и от недопустимого повышения давления пара в отопительном отборе [7]. Программная часть системы защиты реализована в

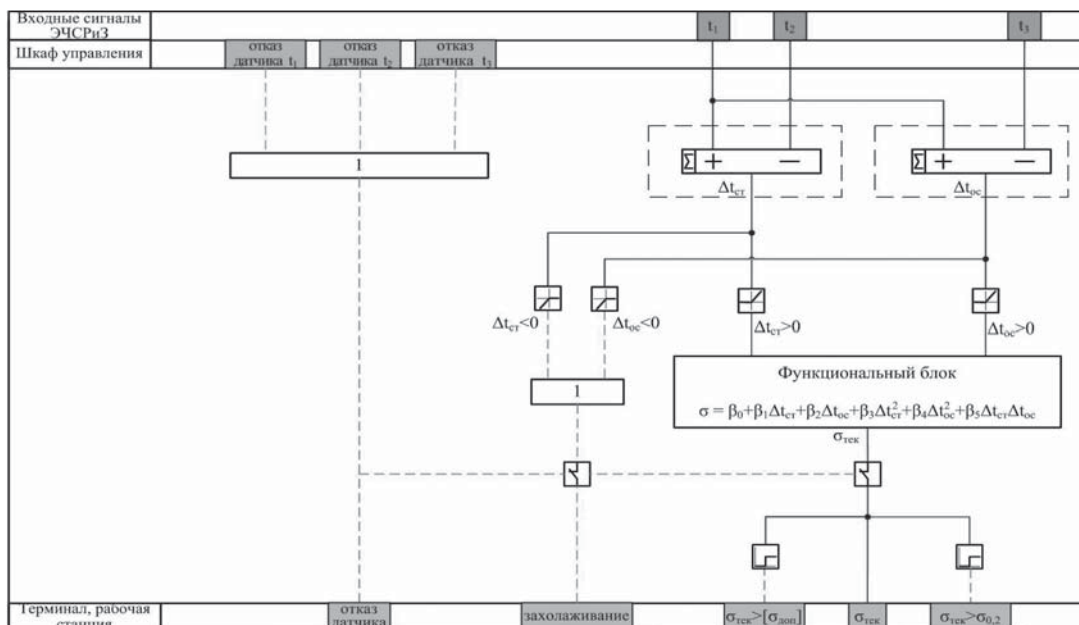


Рис. 3. Модуль вычисления температурных напряжений в корпусе паровой турбины.

следующих модулях:

- модуль защиты по частоте вращения ротора турбины;
- модуль защиты по давлению в отопительном отборе;
- модуль управления соленоидными клапанами.

В качестве основных модулей, осуществляющих функции регулирования паровой турбины можно выделить:

- модуль обработки частоты вращения ротора турбины;

- модуль обработки давления отопительного отбора;
- модуль взведения, останова;
- модуль синхронизации;
- модуль сброса нагрузки турбиной;
- модуль отображения режимов работы турбины;
- модуль состояния регуляторов.

На рис. 3 в качестве примера представлен модуль вычисления температурных напряжений в зоне “А” корпуса ЦВД турбины Т-53/67-8,0. В качестве “языка” для описания технического задания на алгоритмы используется набор традиционных логических операторов, элементы релейно-контактных схем, а также принятые в процессе проектирования на УТЗ обозначения. В таблице представлены графические элементы, используемые для описания рассматриваемого модуля.

Таблица. Графические элементы, используемые для описания модуля вычисления температурных напряжений в корпусе паровой турбины

№	Обозначение	Описание
1	—	Аналоговый сигнал – сигнал, величина которого непрерывно изменяется во времени. Аналоговый сигнал обеспечивает передачу данных путем непрерывного изменения во времени амплитуды, частоты или фазы.
2	- - - -	Дискретный сигнал – сигнал, имеющий конечное число значений.
3		Ключ нормально замкнутый. Нормально замкнутый ключ проводит ток без подачи управляющего напряжения.
4		Верхний пороговый элемент – устройство, на выходе которого сигнал формируется только тогда, когда воздействие входного сигнала больше некоторого уровня, называемого верхним порогом срабатывания.
5		Положительный/отрицательный пороговый элемент – устройство, на выходе которого сигнал формируется только тогда, когда воздействие входного сигнала больше/меньше нуля.
6		Логический оператор “или” – устройство, на выходе которого сигнал формируется только тогда, когда на вход подается один или несколько сигналов (условий).
7		Сумматор – устройство, преобразующие аналоговые или цифровые сигналы в сигнал, эквивалентный сумме этих сигналов.

Входными сигналами для представленного модуля являются сигналы датчиков измерения температуры металла в характерных точках корпуса ЦВД (t_1, t_2, t_3).

Для формирования сигналов, соответствующих разностям температур по толщине стенки и по оси корпуса, входные сигналы поступают в два сумматора, вследствие чего на выходе из сумматоров формируются необходимые разности температур: $\Delta t_{cr} = t_1 - t_2$; $\Delta t_{сc} = t_1 - t_3$.

Если полученные сигналы соответствуют положительным значениям разностей температур, то они поступают в функциональ-



ный блок, на выходе из которого формируется искомое значение температурных напряжений в зоне "А". Таким образом, на рабочей станции (терминале) оператора появляется текущее значение температурных напряжений. При превышении температурными напряжениями установленного предела (допустимых напряжений) на терминал оператора поступает соответствующее предупреждение.

Под допустимыми напряжениями авторы понимают значение предела текучести стали корпуса с учетом коэффициента запаса:

$$[\sigma_{\text{доп}}] = \frac{\sigma_{0,2}}{n}.$$

Если хотя бы одна из полученных разностей температур имеет отрицательное значение, вычисление температурных напряжений приостанавливается, а на рабочей станции оператора появляется предупреждение о том, что металл турбины захлаживается. Данное решение связано с тем, что используемая для вычисления температурных напряжений регрессионная зависимость получена без учета режимов работы паровой турбины с захлаживанием металла корпуса ЦВД.

Необходимо отметить, что указанный режим, как правило, имеет кратковременный характер и обычно возникает при несоблюдении персоналом станции технологии пуска паровой турбины. Кроме того, учет данного явления может стать причиной дополнительных погрешностей при вычислении температурных напряжений. Поэтому, по мнению авторов, определять температурные напряжения в корпусе паровой турбины при захлаживании металла нецелесообразно.

Вычисление температурных напряжений также приостанавливается в случае отказа одного из датчиков измерения температуры металла, а на рабочей станции оператора появляется предупреждение о неисправности.

Непрерывное получение сведений о температурных напряжениях в корпусе ЦВД (обратная связь) позволит обеспечить наиболее оптимальный темп нагружения паровой турбины, что, в свою очередь, повысит надежность ее работы.

Использование обратной связи открывает широкие возможности для автоматического регулирования термонапряженного состояния элементов конструкции паровой турбины. Авторами планируется реализовать в составе алгоритмической структуры ЭЧСРиЗ предохранительный регулятор, автоматически разгружающий турбину при превышении температурными напряжениями в корпусе паровой турбины допустимого предела. В дальнейшем, для управления текущим термонапряженным состоянием "критических" элементов конструкции паровой турбины при пуске планируется разработать дополнительный

модуль, формирующий задание максимальной скорости нагружения турбины, исключающий недопустимое термонапряженное состояние элементов конструкции [8].

Выводы

1. Показано, что система регулирования и защиты паровой турбины может частично принимать на себя функции диагностики и контроля термонапряженного состояния корпуса ЦВД.

2. Установлено, что затраты на организацию непрерывного контроля за термонапряженным состоянием корпуса ЦВД сравнительно невелики и, в общем случае, требуют установки трех датчиков измерения температур металла, а также включения дополнительного модуля в состав алгоритмической структуры ЭЧСРиЗ паровой турбины.

3. Показано, что использование обратной связи при нагружении паровой турбины позволит автоматизировать пусковые операции, обеспечивая надежную работу паровой турбины при пусковых режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кляйнрок И.Ю., Голошумова В.Н., Бродов Ю.М. Исследование термонапряженного состояния корпуса ЦВД паровой турбины Т-53/67-8,0 ЗАО "УТЗ" для ПГУ-230 // Надежность и безопасность энергетики. 2011. № 3. С. 65-69.
2. Кляйнрок И.Ю., Голошумова В.Н., Бродов Ю.М. Организация контроля за тепловым состоянием элементов конструкции паровой турбины для ПГУ // Материалы II международной научно-практической конференции "Современная наука: теория и практика. Том первый. Естественные и технические науки. г. Ставрополь: Сев-КавГТУ, 2011, 220 с.
3. Прокопов А.А., Татаринцев Н.И., Цирлин Л.А. Применение программируемых контроллеров для управления технологическим оборудованием: Учеб. пособие / ГЭТУ. С. -Пб., 2001. 75 с.
4. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода. / Г.Д. Баринберг, Ю.М.Бродов, А.А.Гольдберг и др. / Под общей редакцией проф., д.т.н. Ю.М. Бродова и к.т.н. Кортенко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Екатеринбург: «Априор», 2010. 488 с.
5. Новоселов В.Б. Электрогидравлическая система регулирования и защиты паровых турбин ЗАО "Уральский турбинный завод" // Совершенствование турбин и турбинного оборудования, реконструкция ТЭС, внедрение систем сервиса, диагностирования и ремонта: материалы V международной научно-практической конференции – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2008. С. 57 – 66.
6. Модернизация паровых теплофикационных турбин Т-100/110-12,8 / А.Е. Валамин, Ю.А. Сахнин, В.Б. Новоселов и др. // Теплоэнергетика. 2009. № 9. С. 30 – 34.
7. Новоселов В.Б. Шехтер М.В. Современная система противоработной защиты паровых турбин ЗАО "УТЗ" // Теплоэнергетика. 2011. № 1. С. 21 – 24.
8. Кляйнрок И.Ю., Голошумова В.Н., Бродов Ю.М. Автоматизация непрерывного управления пусковыми режимами паровых турбин // Турбины и дизели. 2011. № 6. С. 44 – 48.