

УДК 621.311.22

А.В. Ткаченко, Ю.С. Махно

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк
кафедра автоматики и телекоммуникаций
E-mail: avtkachenko@mail.ru

ДИАГНОСТИКА ОТКАЗОВ ДАТЧИКОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОБЛОКА ТЭС

Аннотация

Ткаченко О.В., Махно Ю.С. Диагностика отказов датчиков в информационной системе технологических параметров энергоблока ТЭС. В работе рассмотрена актуальная научно-техническая задача диагностики отказов датчиков котлоагрегата сверхкритического давления. Сделан обзор подходов к ее решению в различных отраслях промышленности. Для котлоагрегата сверхкритического давления выбран подход на основе экспертных систем, который не требует разработки сложных математических моделей. Экспертная система диагностирует отказы датчиков с использованием знаний о технологическом процессе. Эти знания представлены в виде логических правил, связывающих между собой измерения датчиков. Правила зависят от режима работы котлоагрегата, в статье приведены их примеры. Предложена реализация системы диагностики отказов датчиков в условиях существующей информационно-измерительной системы Зуевской ТЭС.

Ключевые слова: котлоагрегат сверхкритического давления, диагностика отказов датчиков, экспертная система, знания о технологическом процессе.

Введение.

Производство электроэнергии на тепловых электростанциях является одним из наиболее сложных технологических процессов. Для управления энергоблоком необходимо располагать большим количеством измеряемых параметров. Энергоблоки СКД 300 МВт оснащены более чем 500 датчиками. Работая при сверхкритических параметрах пара, датчики нередко выходят из строя. Особенно опасна ситуация, когда отказавший датчик участвует в контуре автоматического регулирования, либо используется оператором при принятии решений. Актуальной является проблема обнаружения отказавших датчиков в автоматическом режиме. Наиболее известным путем решения этой проблемы является использование избыточного количества датчиков измеряющих одну и ту же величину. Такой подход используется в энергоблоках для самых важных параметров, таких как генерируемая мощность, расход питательной воды, температура и давление подаваемого в турбину пара и т.д. Недостатком этого метода являются значительные финансовые затраты на дополнительное измерительное оборудование. Следующий, часто применяемый на практике метод – введение допустимых диапазонов для измеряемых величин и их скоростей. Однако такой подход позволяет выявить лишь часть возможных неисправностей. Хорошие результаты позволяют получить интеллектуальные программно-алгоритмические методы диагностики неисправностей датчиков, получившие широкое применение в промышленности [1].

Актуальность данной проблемы признается во всем мире. Особенно остро проблема стоит в отраслях промышленности, которые работают с опасными для окружающей среды и человека веществами, такими как химическая промышленность [1] и ядерная энергетика [2]. В Европе проводится ежегодная конференция по проблемам отказоустойчивости

оборудования электростанций «Power plants robustification based on fault detection and isolation algorithms» [3].

Целью статьи является анализ существующих методов программной диагностики датчиков с точки зрения особенностей технологического процесса в энергоблоках СКД 300 МВт. Реализация автоматической системы программной диагностики ориентирована на разработанную Информационную управляющую систему «ОКУР» [4] которая внедрена Институтом прикладной математики и механики НАНУ на блоках 1-4 Зуевской ТЭС.

Отказ датчика – ситуация, в которой датчик передает в информационную систему неверные сведения об измеряемой величине. Простейший случай – отказ одного датчика в информационной системе. В системе может быть и несколько неработающих датчиков, однако, понятно, что вероятность одновременного отказа нескольких датчиков пренебрежимо мала.

Обзор методов диагностики отказов датчиков.

Задачу диагностики отказа датчиков часто относят к задачам искусственного интеллекта [5],[6]. Операции, выполняемые в процессе анализа данных, и последующее принятие решений имитируют действия человека в данной ситуации. Все методы диагностики отказа можно разделить на две большие категории. Первая категория использует модель измеряемого технологического процесса, а вторая основана на принципах экспертных систем.

Принцип работы такой системы диагностики заключается в том, что модель моделирует технологический процесс и получает ожидаемые значения измеряемых величин. Если отклонение между измеряемой и ожидаемой величиной превышает некоторый порог, то датчик считается вышедшим из строя. Обобщенная схема системы диагностики отказов на основе модели процесса приведена на рис. 1.

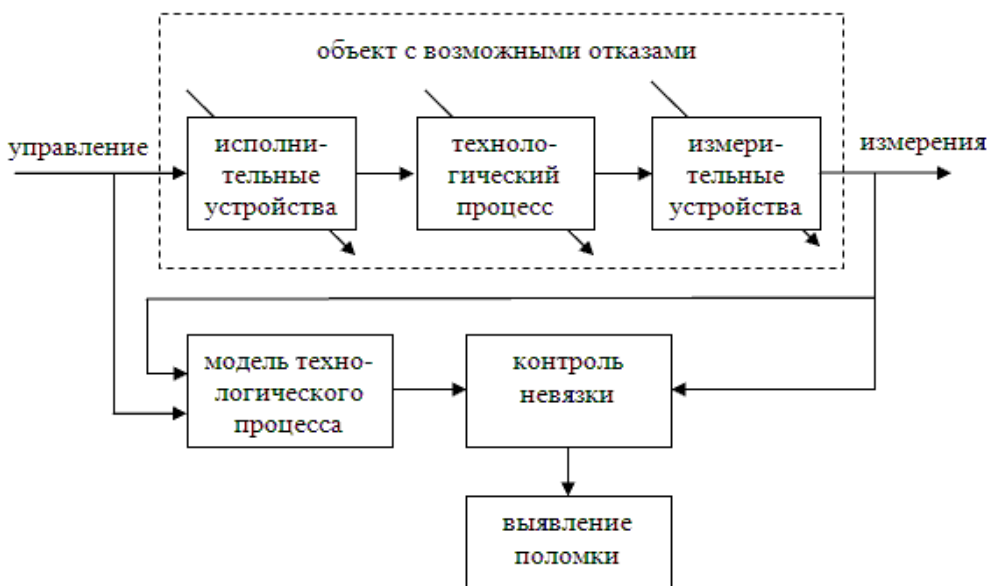


Рисунок 1 – Схема системы диагностика отказов на основе модели процесса

Модель технологического процесса может быть любого типа, главное чтобы она связывала между собой измеряемые величины. В качестве модели используются модели в пространстве состояний, системы уравнение с распределенными параметрами, нейронные сети, модели на основе нечеткой логики, статистические модели т.д. [6]. Например, широко используется математическая модель в виде не сложной квадратичной регрессионной зависимости:

$$x_i = c_0 + \sum_{j=1}^n a_j \cdot x_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n b_{jk} \cdot x_j \cdot x_k, \quad (1)$$

где x_i – измерение i -ого датчика, n – количество датчиков, c_0 , a_j , b_{jk} – коэффициенты регрессионной зависимости.

Недостатком такого подхода является сложность и трудоемкость построения математической модели технологического процесса. Существует проблема работоспособности используемой модели при отказе нескольких датчиков, особенно, если эти датчики подают результаты на входы модели. При использовании модели зачастую необходима оперативная идентификация или подстройка параметров, которая должна учесть возможный дрейф параметров объекта.

При использовании подхода на основе экспертных систем построения математической модели можно избежать. Экспертные системы основаны на использовании продукционных правил. Для анализа результатов измерений применяются некоторые знания о технологическом процессе. Знания определяют правила, которым должны подчиняться результаты измерений датчиков в различных условиях. Схема такой системы приведена на рис. 2 и соответствуют классической компоновке экспертных систем.

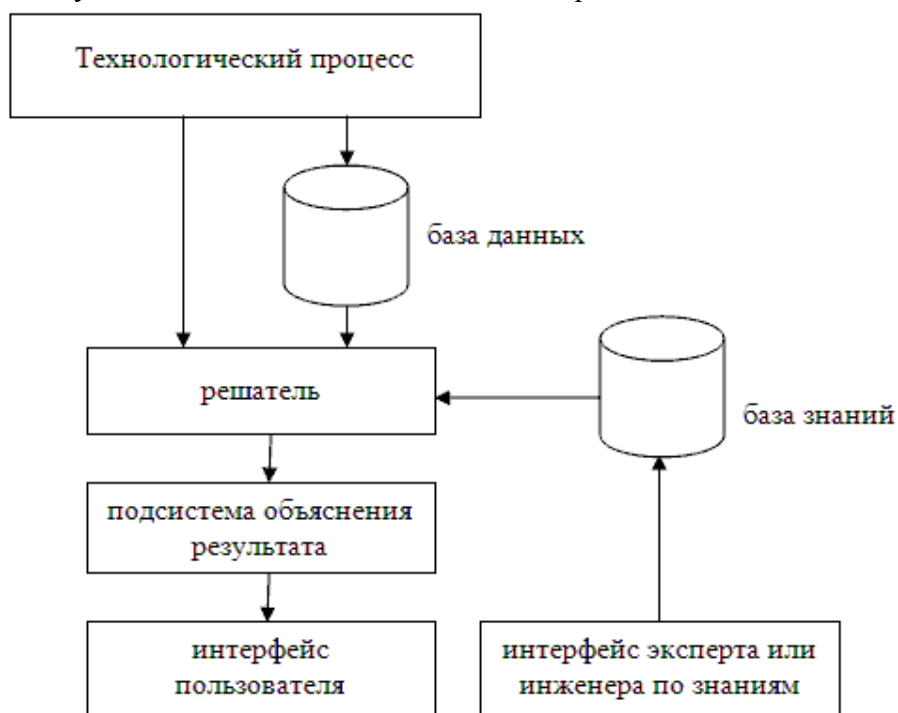


Рисунок 2 – Схема экспертной системы диагностика отказов

В некотором смысле используемые в экспертной системе знания тоже задают математическую модель объект, однако эта модель значительно более «размыта» и проста в построении. Эти знания представляют собой зависимости между измеряемыми величинами, которые может сформулировать любой инженер знакомый с сущностью технологического процесса. Предварительный синтез правил можно производить в автоматическом режиме по имеющимся результатам измерений и, затем, передавать его на обработку эксперту.

Диагностика отказов датчиков в информационной системе технологических параметров энергоблока. Энергоблок СКД 300МВт представляет собой очень сложный технологический объект. Для энергоблока СКД в отличие от энергоблоков барабанного типа отсутствуют целостные модели, позволяющие описывать весь пароводяной тракт. Причинами являются существенная пространственная протяженность поверхностей нагрева,

сложность процессов теплообмена и гидродинамики с учетом сверхкритических параметров пара. Существующие математические модели для определенных участков энергоблока не могут решить проблему полностью и являются вычислительно трудоемкими [7].

В экспертной системе диагностики отказов связанные друг с другом технологические параметры связываются простейшими правилами. Правила задают условия, которые должны выполняться для этих величин с учетом определенных условий на режим процесса. Т.е. такое правило состоит из двух частей:

если <условие на технологический процесс>
то должно выполняться <условие, связывающее измерения датчиков>

где <условие на технологический процесс> может представлять собой:

- режим работы энергоблока (останов, пуск или работа в номинальном режиме);
- состояние запорной арматуры;
- состояние оборудования, например, включен или выключен питательный электронасос.

Второе условие: <условие, связывающее измерения датчиков> – связывает между собой измерения нескольких датчиков.

Если при выполнении первого условия второе условие не выполняется, то это сигнализирует о неисправности одного из датчиков участвующих в условии 2.

Условие на технологический процесс должно быть независимым от ошибок датчиков. Это легко достигается за счет наличия у энергоблока дублирующих датчиков по основным параметрам, по которым можно однозначно установить в каком режиме работает энергоблок. Условие, связывающее измерения датчиков удобнее задавать для двух соседних датчиков с индексами *i* и *j*. Тогда при нарушении правила возникает проблема определения, какой именно их двух датчиков в правиле показывает неверные измерения. Для этого каждый датчик должен быть связан минимум двумя условиями. Тогда отказ *i*-ого датчика можно установить по нарушению как минимум двух правил, в которых он участвует. В случае выявления отказа датчика в информационной системе ему присваивается статус неисправного. Для неисправных датчиков правила, в которых они участвует, не рассчитываются. Снятие статуса неисправности датчика в простейшем случае происходит с участием человека. После починки или замены датчика информация об этом должна быть внесена в систему оперативным персоналом станции. Для автоматического снятия статуса неисправности можно также проводить проверку правил связывающих датчик с остальными.

Расчет правил требует очень незначительно количество вычислительных ресурсов и довольно устойчив к погрешностям измерений, что дает значительное преимущество над системами, использующими модель процесса. Кроме того, такой подход к диагностированию легче выдерживает отказ сразу нескольких датчиков.

Рассмотрим пример построения правил для участка пароперегревательного тракта. Технологическая схема пароперегревательного тракта с обозначением установленного измерительного оборудования приведена на рис. 3.

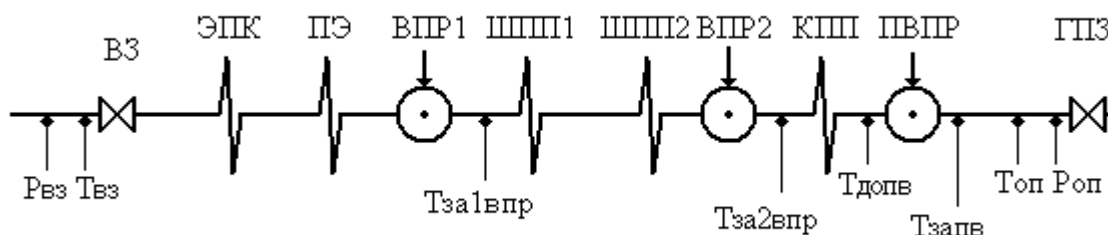


Рисунок 3 – Схема пароперегревательного тракта с указанием точек измерений

Покажем несколько правил для данного участка:

если блок работает в номинальном режиме
то должно выполняться $440 \leq T_{OP} \leq 540$,

если блок работает в номинальном режиме
то должно выполняться $T_{ЗАПВ} + 10 \leq T_{OP}$,

если блок работает в номинальном режиме
то должно выполняться $T_{ДОПВ} + 20 \leq T_{OP}$,

если блок работает в номинальном режиме
то должно выполняться $T_{ДОПВ} + 10 \leq T_{ЗАПВ}$,

где T_{OP} , $T_{ЗАПВ}$, $T_{ДОПВ}$ – температуры острого пара, за пусковым впрыском и до пускового впрыска соответственно.

Для номинального режима пусковой впрыск (ПВПР) всегда отключен, поэтому температура по ходу тракта может только расти. Интервал температур 440-540 °С является характерным для нагрузки свыше 100 МВт. Подобными правилами можно связать все измерения по ходу тракта для всех режимов функционирования энергоблока.

Для реализации описанной экспертной системы в информационно-управляющей системе ОКУР потребовалось создание нескольких таблиц, хранящих правила для измерений и вызов соответствующих процедур проверки на каждом такте обработки информации.

Выводы.

В работе рассмотрена актуальная задача выявления отказов датчиков котлоагрегата. Представлены два основных интеллектуальных принципа ее решения: с использованием математической модели и подход экспертных систем. Выбор сделан в пользу экспертных систем благодаря меньшей трудоемкости, простоты реализации и высокой робастности. Этот подход предполагает создание базы знаний о технологическом процессе в виде правил, связывающих между собой измерения.

Дополнительного повышения качества функционирования системы диагностики отказов можно получить используя следующие методики и подходы:

- тренды изменения основных параметров;
- применение нечеткой логики в правилах анализа данных позволит отказаться от использования жестких пороговых значений;
- комбинировать использование диагностики датчиков с использованием математической модели для некоторых участков.

Рассмотренные в статье подходы могут быть использованы и при построении подсистем диагностики в информационных системах других сложных технологических объектов.

Литература

1. Afonso P.A.F.N.A., Ferreira J.M.L., Castro J.A.A.M. Sensor fault detection and identification in a pilot plant under process control // Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, 1998. – Vol. 76. – Part A. – P. 490-498.
2. Zavaljevski N., Gross K.C. Sensor fault detection in nuclear power plants using multivariate state estimation technique and support vector machines // Proceedings of Third International Conference of the Yugoslav Nuclear Society, Belgrade, Yugoslavia, October 2-5, 2000. – P. 2-13.
3. Power plants robustification based on fault detection and isolation algorithms [Электронный ресурс]. – доступно по адресу: <http://www.ict-prodi-project.eu/>
4. Ткаченко В.Н., Афанасьев Н.Н., Суков С.Ф., Махно И.В., Ткаченко А.В., Махно Ю.С. Информационно-управляющая система “ИУС-ОКУР” для оперативного контроля и

- управления работой энергоблоков. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 15 (130). – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – С. 136-142.
5. Mendonca L.F., Sousa J.M.C., Sar da Costa J.M.G. An architecture for fault detection and isolation based on fuzzy methods // Expert Systems with Applications, 2009. – Vol. 36. – P. 1092–1104.
 6. Jabbari A., Jedermann R., Lang W. Application of Computational Intelligence for Sensor Fault Detection and Isolation // World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007. – Vol. 33. – P. 265-270.
 7. Ткаченко А.В. Прогностическое управление пуском котла сверхкритического давления энергоблока ТЭС. // Труды VII международной конференции «Идентификация систем и задачи управления». – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2008. – С. 1814-1825. – ISBN 978-5-9145-002-0.

Abstract

Tkachenko A.V., Makhno Yu.S. The sensor fault detection in the information system of technological parameters of a power plant unit. The paper considers actual problem of sensor fault detection in supercritical power unit. Main approaches that have wide implementation in the industry are overviewed. Expert system based approach is selected for supercritical power unit because it doesn't require mathematical model. In the expert system approach knowledge about the technological process is used. Knowledge is presented as logical rules that connect measurements in different work rates of the power unit. Example of the fault detection rules is shown. Implementation of the fault detection system in the power plant information system is described.

Keywords: super critical power unit, sensor fault detection, expert system, knowledge about technological process.

Анотація

Ткаченко О.В. Махно Ю.С. Діагностика відмов датчиків у інформаційній системі технологічних параметрів енергоблоку ТЕС. У роботі розглянута актуальна науково-технічна задача діагностики відмов датчиків котлоагрегата надкритичного тиску. Зроблено огляд підходів до її вирішення у різних галузях промисловості. Для котлоагрегату надкритичного тиску обрано використовувати експертну діагностичну систему адже вона не потребує розробки складних математичних моделей. Експертна система діагностує відмови датчиків з використанням знань про технологічний процес. Ці знання представлені як логічні правила, що зв'язують між собою вимірювання датчиків і залежать від режиму роботи котлоагрегату. Наведені приклади таких правил. Запропонована реалізація системи діагностики відмов датчиків в умовах існуючої системи вимірювань Зуївської ТЕС.

Ключові слова: котлоагрегат надкритичного тиску, діагностика відмов датчиків, експертна система, знання про технологічний процес.

Здано в редакцію:
22.02.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Скобцов Ю.О.