



ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА БАЗЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ИНФРАСТРУКТУР

ДИАГНОСТИКА НА ТЕХНИЧЕСКО СОСТОЯНИЕ НА ОБЕКТИ ОТ ВЛАСТ НА БАЗАТА НА
РАЗПРЕДЕЛЕНИ ИЗЧИСЛИТЕЛНИ ИНФРАСТРУКТУРА

DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF THERMAL POWER OBJECTS BASED ON
DISTRIBUTED COMPUTING INFRASTRUCTURE

член-корр. НАН Украины, проф., д.т.н. Бабак В.П.*, аспирант, м.н.с. Запорожец А.А.*, м.н.с. Свердлова А.Д.

*Институт технической теплофизики НАН Украины – Киев, Украина

art.morco@gmail.com

Abstract: The presented state of heating energy equipment in Ukraine are considered. Showed the necessity of creation a modern system of such equipment, which will operate with using retrospective data on the basis of distributed computing infrastructures. Analyzed the modern information and analytical systems of thermal power diagnosis. Suggested the criteria for monitoring the state of the heat power equipment on its actual condition.

KEYWORDS: heat power engineering, boiler, information-analytical system, diagnosis, monitoring, retrospective information, distributed computing infrastructure

1. Введение

Проблематика энергосбережения и эффективного использования энергоносителей относится к числу приоритетных вопросов национальной безопасности Украины. Теплоэнергетика является неотъемлемой составляющей ее энергетического сектора.

В настоящее время более 80% теплоэнергетического оборудования в Украине выработало свой ресурс, в связи с чем становится насущной проблема создания систем контроля, диагностики и мониторинга теплоэнергетического оборудования.

Основным источником получения тепла является котельная установка, в то же время это один из наиболее частых источников возникновения неисправностей, среди которых повреждение поверхностей нагрева котлов, систем топливоподачи, вспомогательного оборудования, автоматики и др. В табл. 1 приведены распределение отказов оборудования энергоблоков мощностью 300 МВт [1,2].

Таблица 1

Распределение отказов оборудования энергоблоков

Элементы	Соотношение отказов, %
Поверхности нагрева	79,2
Дополнительное оборудование	3,5
Топливоподача, газопроводы	2,0
Регенеративные воздухоподогреватели	0,1
Обмуровка	0,3
Арматура	4,9
Автоматика	7,4
Другое	2,6

К основным причинам отказов котлов относятся никак неполадки пароперегревателя (потолочного, ширмового,

конвективного), экранных труб (испарительные экраны), экономайзера, труб, не обогреваются, и другое. В табл. 2 приведен распределение отказов элементов котлов электростанций [1,2].

К основным причинам отказов вспомогательного оборудования котельных установок относятся неполадки и неисправности дымососов, дутьевых вентиляторов, регенеративных воздухоподогревателей и др., Распределение которых приведен в табл. 1.5 [1,2].

Таблица 2

Распределение отказов элементов котлов электростанций

Элементы	Соотношение отказов, %
Экономайзер	30-35
Испарительные экраны	14-30
Пароперегреватель	20-40
Трубы, что не обогреваются	3-8
Другие элементы	5-6

Таблица 3

Распределение отказов элементов вспомогательного оборудования котельных установок

Элементы	Соотношение отказов, %
Дымососы	35-40
Дутьевой вентилятор	19-20
Регенеративный воздухоподогреватель	18-20
Шаровая мельница	10-12
Молоточная мельница	4-5
Питатели угля, транспортеры	3-14

В топке и газоходах возможны взрывы и стуки через накопления значительного количества несожженного топлива. Причинами этого могут быть осадения топлива на пол или в холодную воронку, отнесенных в газоходы

вследствие некорректной организации процесса горения в топке.

Низкая надежность теплотехнического оборудования приводит к авариям и значительным потерям теплоты и, как следствие, к большим экономическим затратам и значительному количеству ремонтных работ. Статистика повреждения и теплотерь в тепломагистралях «Киевэнерго» приведена на рис. 1 [3].

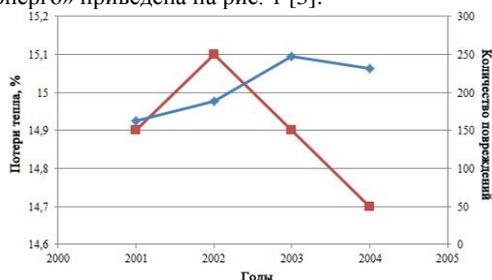


Рис. 1. Статистика повреждений и теплотерь в тепломагистралях «Киевэнерго»

В целом для повышения надежности теплоэнергетического оборудования необходимо накопление и систематизация данных длительной эксплуатации установок, которые производились раньше, и создание на этой основе установок, которые будут приспособлены к определенным условиям эксплуатации [4].

Особое значение имеет развитие, с одной стороны, методов технической диагностики для выявления, локализации и предупреждения отказов элементов теплотехнического оборудования, определяющих вероятные отказы и повреждения, с другой – разработка эффективных методов статистической обработки полученных данных для определения на их основе показателей надежности.

Своевременное обнаружение точных координат повреждения обеспечивает возможность:

- в плановом (не аварийном) порядке провести ремонт и тем самым не допустить развития повреждения до критической стадии, когда внезапно нарушается работоспособность теплопровода, а ситуация перерастает в аварийную с выбросом теплоносителя на поверхность земли;
- снизить объемы и соответственно затраты при ремонтных работах;
- уменьшить площадь нарушения благоустроенных территорий и асфальтового покрытий;
- уменьшить перерывы теплоснабжения потребителей;
- уменьшить потери теплоносителя;
- избежать нанесения ущерба третьим лицам и соответственно избежать страховых выплат;
- снизить затраты на послеаварийные восстановительные работы, штрафы.

2. Постановка задачи

Целью работы является анализ существующих информационно-аналитических систем (ИАС) теплоэнергетического диагностирования и выработка критериев для дальнейшей разработки, внедрения и сопровождения ИАС мониторинга и анализа режимов функционирования объектов теплоэнергетики с учетом их текущего технического состояния.

3. Решение проблемы

В настоящее время целый ряд технических и физических методов диагностики (акустические методы, методы использования магнитной памяти металла и др.) с тем или иным успехом используются при исследовании технического состояния теплоэнергетического объекта. Технические данные, получаемые при диагностике различными методами, подлежат качественной расшифровке и количественному анализу, в результате которого весь спектр обнаруженных потенциально опасных участков на исследуемом объекте

должен классифицироваться по степени своей опасности для дальнейшей безопасной эксплуатации.

Для диагностирования теплотехнического оборудования применяется разрушающий и неразрушающий контроль.

Разрушающий контроль (РК) – это совокупность методов измерения и контроля показателей качества изделия, по завершении которого нарушается пригодность объекта контроля к использованию по назначению. Позволяет контролировать качество материалов конструкций и их элементов, определять предел прочности и надежности. Преимущество разрушающего контроля состоит в том, что он позволяет получать количественные характеристики материалов.

Неразрушающий контроль (НК) – это контроль свойств и параметров объекта, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к использованию и эксплуатации. Данный метод является основным при проведении диагностики состояния оборудования и элементов конструкций, которые требуют особой надежности. Преимущество неразрушающего контроля состоит в том, что не требуется выведение объекта из рабочего режима либо его демонтаж.

Достоинства методов неразрушающего контроля (МНК):

- сравнительно большая скорость контроля,
- высокая надежность (достоверность) контроля,
- возможность механизации и автоматизации процессов контроля,
- возможность применения МНК в пооперационном контроле изделий сложной формы,
- возможность применения МНК в условиях эксплуатации без разборки машин и сооружений и демонтажа их агрегатов,
- сравнительная дешевизна контроля и др.

Одним из наиболее частых распространенных МНК для контроля теплотехнического оборудования является дефектоскопия.

Дефектоскопия — это совокупность методов, которые выявляют дефекты конструкций, оборудования на предприятиях, металлических изделий и заготовок.

Основной принцип проведения дефектоскопии (или неразрушающего контроля) – выявление потенциально опасных участков для предупреждения аварий, при этом не технологический процесс не должен быть остановлен, а демонтаж объекта исследования не требуется. Тщательный контроль — залог безопасности. Особо важные объекты, которые интенсивно эксплуатируются, нужно проверять регулярно.

В зависимости от физических явлений, МНК подразделяют на 9 видов:

- акустический,
- магнитный,
- вихретоковый,
- проникающими веществами,
- радиоволновый,
- радиационный,
- оптический,
- тепловой,
- электрический.

На практике наиболее широкое распространение нашли первые четыре метода.

Под акустическим видом неразрушающего контроля понимают вид, основанный на регистрации параметров упругих колебаний, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте.

В акустическом виде неразрушающего контроля чаще всего применяют звуковые и ультразвуковые частоты, т.е. используют диапазон частот приблизительно от 0,5 кГц до 30 МГц. В случае, когда при контроле используют частоты свыше 20 кГц, допустимо применение термина «ультразвуковой» вместо термина «акустический».

По характеру взаимодействия упругих колебаний с контролируемым материалом акустические методы подразделяют на следующие основные методы:

- прошедшего излучения (теневого, зеркально-теневого);
- отраженного излучения (эхо-импульсный);
- резонансный;
- импедансный;
- свободных колебаний;
- акустико-эмиссионный.

По характеру регистрации первичного информативного параметра акустические методы подразделяются на амплитудный, частотный, спектральный.

Акустические методы неразрушающего контроля решают следующие контрольно-измерительные задачи:

- метод прошедшего излучения выявляет глубинные дефекты типа нарушения сплошности, расслоения, непроклёп, непропаи;
- метод отраженного излучения обнаруживает дефекты типа нарушения сплошности, определяет их координаты, размеры, ориентацию пугём прозвучивания изделия и приёма отраженного от дефекта эхо-сигнала;
- резонансный метод применяется в основном для измерения толщины изделия (иногда применяют для обнаружения зоны коррозионного поражения, непропаев, расслоений в тонких местах из металлов);
- акустико-эмиссионный метод обнаруживает и регистрирует только развивающиеся трещины или способные к развитию под действием механической нагрузки. Метод имеет высокую чувствительность к росту дефектов позволяет обнаружить увеличение трещины на 1-10 мкм, причём измерения, как правило, проходят в рабочих условиях при наличии механических и электрических шумов;
- импедансный метод предназначен для контроля клеевых, сварных и паяных соединений, имеющих тонкую обшивку, приклеенную или припаянную к элементам жёсткости. Дефекты клеевых и паяных соединений выявляются только со стороны ввода упругих колебаний;
- метод свободных колебаний применяется для обнаружения глубинных дефектов.

На рис. 2 схематически представлена возможность применения акустического МНК для обнаружения дефектов внутри материалов.

Результаты применения активного акустического МНК представлены на рисунке 2.

В левой части рисунка изображен объект, не имеющий дефектов и соответствующий его проверке график, на котором отображены информативные параметры акустической волны (в данном случае время прохождения через объект). Справа изображен график, соответствующий наличию дефекта.

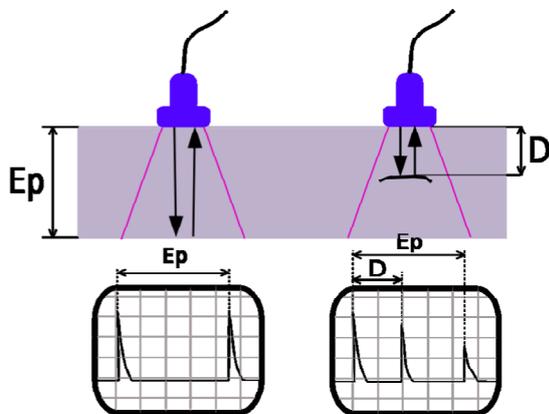


Рис. 2. Результат применения активного акустического МНК (отражения)

Универсального метода, который мог бы обнаружить дефекты разных классов нет. Каждый отдельно взятый метод НК решает ограниченный круг задач технического контроля.

Выбор оптимального метода неразрушающего контроля следует осуществлять исходя из его:

- реальных особенностей;
- физических основ;
- степени разработки;
- области применения;
- чувствительности;
- разрешающей способности;
- технических условий отработки;
- технических характеристик аппаратуры.

Измерительная система неразрушающего контроля должна быть скомплектована из прибора, преобразователя и контрольного образца.

Раскомплектовка измерительной системы недопустима и ведёт к изменению метрологических характеристик.

Основные функции, которые должна выполнять разрабатываемая ИАС для диагностики и мониторинга состояния теплотехнического оборудования:

- сбор результатов измерений параметров работы котельной в реальном времени;
- мониторинг эксплуатационных режимов;
- контроль значений параметров технологических процессов котельной;
- своевременное выявление нештатных и критических ситуаций, предупреждение аварийных;
- формирование архива результатов измерений параметров;
- формирование и визуализация графиков;
- анализ ретроспективной информации;
- учет выработанной и отпущенной тепловой энергии, а также расходов на собственные нужды;
- подготовка отчетной документации; расчет экономических показателей котельной.

Современные технологии, в частности Internet of Things (IoT, «интернет вещей»), открывают новые возможности для улучшения существующих систем. Применение такой технологии приведет к увеличению эффективности, снижению издержек, внедрение энергосберегающих технологий. IoT – концепция вычислительной сети физических объектов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаящее из части действий и операций необходимость участия человека.

На рисунке 3 показана упрощенная структурная схема разрабатываемой ИАС. С помощью сенсоров возможно будет получать данные и накапливать их в течении продолжительного времени. В случае возникновения нештатной ситуации, фиксируются ее параметры, а также принятые действия. Это позволит построить прогнозирующую модель, которая позволит по накопленным данным не только предвидеть те или иные события, но и выработать рекомендации для дальнейшего функционирования объекта диагностики.

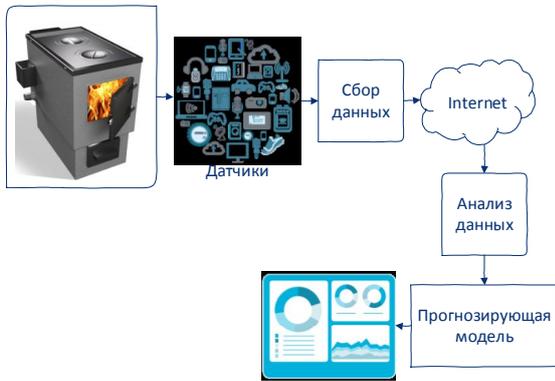


Рис. 3. Структурная схема разрабатываемой ИАС

Базой для создания диагностических моделей могут служить процессы Бунимовича-Райса (модели шумовых сигналов) [4]:

$$\zeta(t) = \sum_{k=1}^{N(t)} \eta_k A(t - t_k) \quad (1)$$

Изменение состояния объекта диагностирования приводит к изменению параметра процесса, выраженного формулой (1), в частности, закона распределения амплитуд η_k , формы импульсов $h(t)$, интенсивности появления импульсов λ . Поэтому диагностическими признаками могут являться вероятностные характеристики шумовых сигналов. Некоторые типичные формы таких сигналов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Формы элементарных импульсов

Номер	Формы импульсов	Аналитическое выражение, $h(t), A>0, \tau_0>0$
1	Прямоугольная	$h(t)=A \cdot E(t) \cdot E(\tau_0-t)$
2	Пилообразная	$h(t)=A(t/\tau_0) \cdot E(t) \cdot E(\tau_0-t)$
3	Экспоненциально-степенная	$h(t)=A(t/\tau_0)^b \exp(-t/\tau_0) \cdot E(t)$
4	Экспоненциально-синусная	$h(t)=A \cdot \exp(-t/\tau_0) \cdot \sin(\omega_0 t) \cdot E(t)$

На рис. 4 приведена смоделированная реализация процесса согласно формулы (1) с экспоненциально-степенной и экспоненциально-синусной формой импульсов.

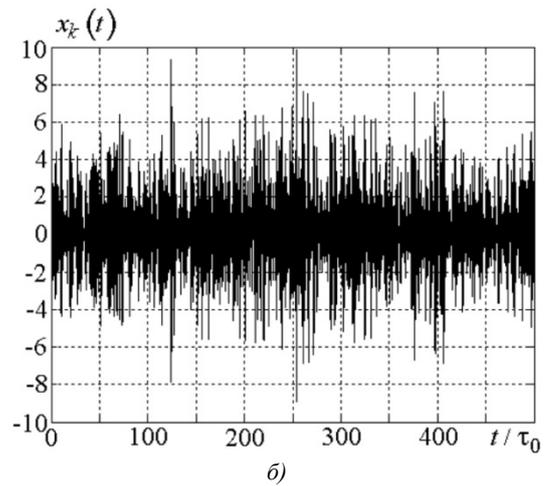
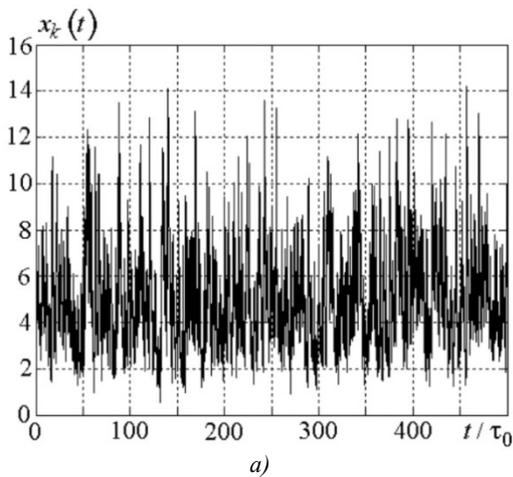


Рис. 4. Моделирование процесса Бунимовича-Райса: а) с экспоненциально-степенной формой импульсов; б) с экспоненциально-синусной формой импульсов

Одним из качественных функциональных блоков такой системы может быть система контроля процесса горения, разработанная в Институте технической теплофизики НАН Украины [5].

В основу устройства положен алгоритм контроля процесса качества горения топлива в котлоагрегатах путем непрерывного измерения концентрации кислорода в дымовых газах с помощью широкополосного кислородного зонда, который контролирует процесс горения газообразного и жидкого топлив разного качественного и количественного состава [6]. Индикация уровня коэффициента избытка воздуха в дымовых газах происходит при помощи альфа-индикатора для быстрого и постоянного мониторинга режимов работы котлоагрегата (рис. 5).



Рис. 5. Система контроля за процессом горения (1 – широкодиапазонный кислородный зонд, 2 – альфа-индикатор, 3 – контроллер, 4 – USD-интерфейс)

Таким образом, использование ИАС на базе распределенных вычислительных инфраструктур с использованием ретроспективной информации позволит на качественно новом уровне подойти к диагностированию и мониторингу объектов теплоэнергетики.

4. Заключение

В результате проведенного анализа установлено, что большая часть теплотехнического оборудования, которое используется в Украине, технологически и морально устарело. В связи с этим актуальность создания ИАС диагностирования и мониторинга состояния теплотехнического оборудования не вызывает сомнений.

В работе предложено создание нового типа ИАС для теплотехнической диагностики, которая базируется на анализе ретроспективной информации с использованием распределенных вычислительных инфраструктур («облаков»). Наиболее вероятный вариант реализации такой системы возможен с использованием технологии IoT.

В настоящее время ведется анализ параметров контроля, необходимых для создания ИАС. Одним из наиболее важных

параметров стане склад димових газів, який можна виміряти за допомогою системи контролю за процесом горіння, розробленою співробітниками ІТТФ НАН України.

5. Література

1. Казаков А. В. Надійність, діагностика елементів енергетичного обладнання. – Томск: Вид-во Томського політехнічного університету, 2010. – 224 с.
2. Надійність теплоенергетичного обладнання ТЭС і АЭС: Учеб. посібник для вузів / Г. П. Гладьшев і др.; Під ред. А. І. Андрющенко. – М.: Вища шк., 1991. – 301 с.
3. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації: Монографія: В 2 т. / За ред. А. А. Долінського. – Т.1. – К.: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2007. – 394 с.
4. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія /В.П. Бабак, С.В.

- Бабак, В.С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабак / - К., 2015. – 512 с.
5. Пат. №102512, Україна, МПК F23N5/18. Система контролю якості горіння / Бабак В.П., Назаренко О.О., Запорожець А.О.; заявник та патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 25.09.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. №21.
 6. Бабак В.П. Підвищення ефективності спалювання палива в котлах потужністю до 3,5 МВт з використанням α -зонду / В.П. Бабак, А.О. Запорожець, О.О. Назаренко // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Збірник наукових статей. – Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. – 2015. – С. 391-407.