

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Рассматриваются теоретические и практические аспекты актуальной проблемы идентификации технического состояния (ТС) энергонапряженных промышленных объектов. Предложена и реализована многоуровневая декомпозиция, предполагающая нахождение научно обоснованных агрегированных, корреляционных, аналитических и прогнозных моделей изменения ТС. Приведены модели ТС энергетического котла всех уровней, полученные в процессе автоматизированной идентификации по данным проведенных диагностирований.

Теплоэнергетическое оборудование (ТЭО) относится к категории промышленных объектов, отказы которых сопряжены со значительным материальным и экологическим ущербом. Увеличивающаяся продолжительность эксплуатации ТЭО, износ оборудования выдвигают вопросы оценки технического состояния в ранг наиболее важных научно-технических проблем [1]. Проведенный анализ научной проблемы на основе собранной за тридцатилетний период эксплуатации ТЭС Оренбургского региона информации по отказам оборудования позволяет выделить определяющий для ТС ТЭО процесс ползучести и четыре основные причины повреждения металла: перегрев (55,2% от общего количества отказов), далее следуют дефекты металла и монтажа (22,4%), коррозия (14,9%) и исчерпание ресурса (7,5%). В работах Антикайна П.А., Аскользина П.А., Ботвиной Л.Р., Гофмана Ю.М., Должанского П.Р., Израилева Ю.Л., Лубны-Герцака А.Л., Ланской К.А., Одингга И.А., Розенберга В.М., Хромченко Ф.А. и многих других обсуждаются модели повреждения металла при ползучести, базирующиеся на теории упрочнения (наклепа) и разупрочнения (рекристаллизации). Однако используемые параметры и математические модели (ММ) состояния металла ТЭО в условиях высоких температур и напряжений носят локальный характер.

Известно, что с применением ТЭО в России вырабатывается более 70% электроэнергии, при этом количество отказавших элементов за последние 15 лет существенно возросло, и эта тенденция, связанная со старением ТЭС, сохраняется. Установлено, что

энергетические котлы, например типа ТГМЕ-464, содержат около 3,5 тысячи элементов, существенных с точки зрения технического состояния. Состояние каждого элемента описывается 22 параметрами, значения которых определяются методами визуального, разрушающего и неразрушающего контроля. Известные методики диагностирования ПО, устанавливая периодичность, способы и объем контроля, признаки для оценки вида дефекта, а также степень потенциальной опасности локальных дефектов, не позволяют количественно оценивать ТС, наблюдать его изменение до и после ремонтов, проводить сравнительный анализ и прогнозировать ТС с учетом выявленных аномалий.

Принципиальным выходом из создавшегося положения является разработка новых методов аналитической идентификации ТС в рамках развиваемого научного направления [2, 3], позволяющих существенно сократить затраты материальных и временных ресурсов при проведении технического диагностирования, а также технического обслуживания и ремонтов. В соответствии с поставленной целью – повышение эффективности функционирования ТЭО на этапе их длительной эксплуатации за счет разработки методологии аналитической идентификации технического состояния – решены следующие задачи: разработаны способы агрегирования диагностической информации и получения оптимальных по критерию минимума среднего риска агрегированных моделей ТС; развиты основные теоретические положения построения аналитических моделей и моделей прогнозирования ТС; разработа-

ны методики и проведена аналитическая идентификация и прогнозирование ТС ТЭО.

В рамках предложенной методологии рациональна четырехуровневая декомпозиция, предполагающая нахождение: агрегированных моделей по сформированным базам данных на основе результатов диагностирования; аппроксимирующих зависимостей соответствующих корреляционных функций; общих и физически реализуемых аналитических моделей и моделей прогнозирования.

Процесс нахождения агрегированных моделей ТС ТЭО предполагает пятиоперационное агрегирование: покомпонентное, поэлементное, поагрегатное, погрупповое и общее (рисунок 1).

Покомпонентное агрегирование предусматривает нахождение степени повреждения металла по трем компонентам: надежностной $S_{нк}$ в соответствии с эффективной наработкой, температурной $S_{тк}$ в зависимости от напряжения и температуры и механической компоненты $S_{мк}$ также в зависимости от эффективной температуры для каждого элемента с учетом ряда существенных физико-механических свойств, а также марки стали, давления и других факторов, выбранных из базы данных. Методом экспертных оценок с учетом мнений специалистов энергетической отрасли и условия нормирования выбраны весовые коэффициенты: в надежност-

ной компоненте для вероятности отказов (1) $\alpha_{Q(t)}$, номинального допускаемого напряжения (2) $\alpha_{ндн}$ и относительного количества пусков (3) $\alpha_{п}$; в температурной компоненте для допускаемого напряжения (4) $\alpha_{дн}$, предела ползучести (5) $\alpha_{плп}$ и предела длительной прочности (6) $\alpha_{плп}$; в механической компоненте для предела прочности (7) $\alpha_{плп}$, предела текучести (8) $\alpha_{пт}$, относительного удлинения (9) $\alpha_{оу}$, относительного сужения (10) $\alpha_{ос}$ и ударной вязкости (11) $\alpha_{ув}$ (см. соответствующие цифры в нижней строчке рис. 1). Поэлементное агрегирование предусматривает нахождение агрегированной модели степени повреждения металла элементов по компонентным данным, полученным при выполнении 1-й операции с учетом весовых коэффициентов для надежностной, температурной и механической компонент.

При третьей операции агрегирования сначала выбирается удельное количество элементов в агрегате, а затем находится оптимальное количество по критерию минимума среднего риска. Таким образом, создаются агрегаты, для каждого из которых вычисляются по предложенному алгоритму основные $N_{а1}, N_{q1}, N_{z1}$ и дополнительные параметры агрегирования, по которым находятся агрегированные модели – аддитивная, мультипликативная и комбинированная.

Погрупповое агрегирование имеет конечной целью получение основных статис-

1	$S_{опт.мин}, S_{опт.ср}, S_{опт.макс}$																				
	$S_{адд}$			$S_{мпт}$					$S_{кмб}$												
	N_a			N_q					N_z												
2	$S_{агр1}$			.....					$S_{агр33}$											
	Гибы	$M_{гибов}$	$D_{гибов}$					$\sigma_{гибов}$			Интервальные значения										
	Св. швы	$M_{св.швов}$	$D_{св.швов}$					$\sigma_{св.швов}$													
	Трубы	$M_{труб}$	$D_{труб}$					$\sigma_{труб}$													
	$S_{адд1}$	$S_{мпт1}$	$S_{кмб1}$			...	$S_{адд25}$	$S_{мпт25}$	$S_{кмб25}$									
N_{a1}	N_{q1}	N_{z1}			...	N_{a25}	N_{q25}	N_{z25}													
Схема 1			...					Схема 25													
3	$S_{опт агр1}$			.....					$S_{опт агр 33}$											
	$S_{адд1}$	$S_{мпт1}$	$S_{кмб1}$						$S_{адд33}$	$S_{мпт33}$	$S_{кмб33}$										
	N_{a1}	N_{q1}	N_{z1}	... $\alpha_{Na}, \alpha_{Nq}, \alpha_{Nz}$...					N_{a33}	N_{q33}	N_{z33}										
	Агрегат 1			.....					Агрегат 33											
4	$S_{адд1}$			...					$S_{адд3317}$									
	$S_{нк1}$	$S_{тк1}$	$S_{мк1}$...					$S_{нк3317}$	$S_{тк3317}$	$S_{мк3317}$								
5	$S_{нк1}$	$S_{тк1}$	$S_{мк1}$...					$S_{нк3317}$	$S_{тк3317}$	$S_{мк3317}$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Рисунок 1. Схема операций по нахождению агрегированных моделей ТС ТЭО: 1 – общая; 2 – погрупповая; 3 – поагрегатная (основная); 4 – поэлементная и 5 – покомпонентная.

тических характеристик: математического ожидания M , дисперсии D , стандартного отклонения σ и границ интервалов для гибов, сварных соединений и труб с опорой на схемы графической части базы данных.

Заключительная операция на уровне общего агрегирования предусматривает нахождение по полученной оптимальной модели следующих статистических характеристик изменения ТС: среднего эффективного, стандартного отклонения, ошибки среднего и доверительного интервала по критерию Стьюдента – Романовского.

Выбранный по принципам типичности и информативности модельный энергетический котел декомпозирован на более трех тысяч (3317) существенных элементов: сварные стыки, гибы и трубы. В процессе идентификации ТС ТЭО разработаны: 1) методика определения эквивалентной температуры эксплуатации с учетом наработки элементов на отказ, позволяющая скорректировать созданный для трех диагностированных комплекс баз данных энергетического котла и установить причины отказов элементов ТЭО за 30-летний период эксплуатации, основной из которых является длительный перегрев металла и, как следствие, ускоренное протекание ползучести; 2) методика определения и сами полиномиальные аппроксимирующие зависимости выбранных физико-механических свойств металла ТЭО, вошедшие в надежность, температурную и механическую компоненты агрегированных моделей ТС трех котельных марок стали; 3) автоматизированный стенд с нагревательной камерой, снабженной системой автоматической стабилизации температуры, для испытаний на растяжение при повышенных температурах с уточнением аппроксимирующих зависимостей механической компоненты. На рисунке 2 выборочно приведены найденные зависимости пределов прочности (а) и текучести (б) для котельных марок стали, вошедших в базу данных.

Проведенное агрегирование информационных массивов с диагностической информацией

позволило получить оптимальные по критерию минимума среднего риска модели ТС энергетического котла со 100 элементами на каждый агрегат (рисунок 3).

Анализ оптимальных агрегированных моделей показывает, что в соответствии с закономерностями, присущими энергонапря-

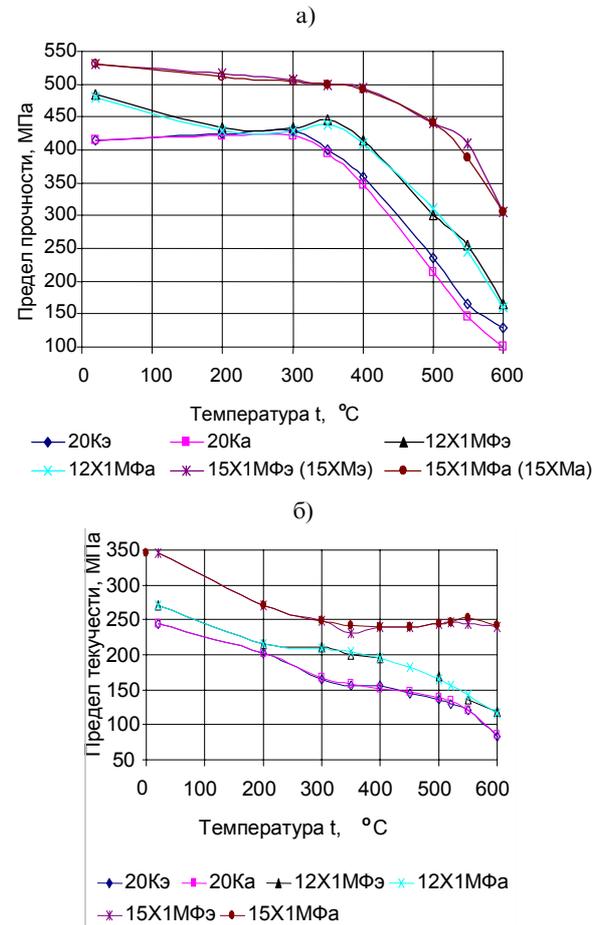


Рисунок 2. Экспериментальные (индекс э) и аппроксимирующие (индекс а) зависимости пределов прочности (а) и текучести (б) от температуры

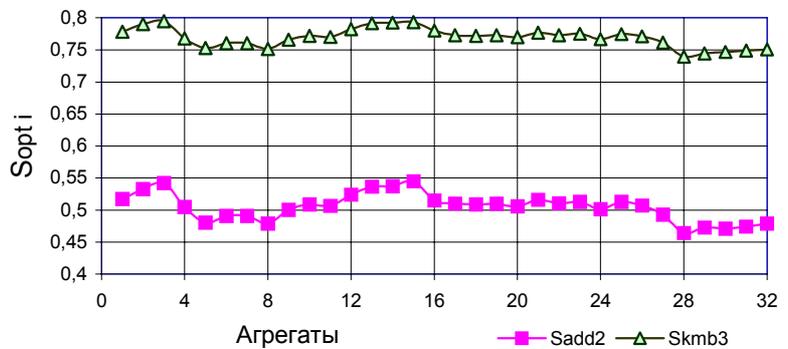


Рисунок 3. Графики оптимальных агрегированных моделей ТС энергетического котла по данным 2-го и 3-го диагностированных

женным промышленным объектам, степень повреждения металла с увеличением наработки значительно возрастает, причем ухудшение ТС по агрегатам существенно неравномерное.

Получены поагрегатные интенсивности V_{ski} изменения ТС, а также зависимости изменения интенсивностей от ТС энергетического котла $V_{sk}(U)$ (рисунок 4). Выявлены коэффициенты аппроксимирующих полиномиальных зависимостей $V_{sk apr}(U)$.

Установлено, что ТС энергетического котла по данным 1-го и 2-го диагностирований принадлежит диапазону 0,46...0,55, а соответствующая интенсивность (0,00025...0,00045)%/ч, а по данным 2-го и 3-го диагностирований – диапазон ТС существенно сдвигается в сторону больших значений (0,74...0,81), а интенсивность снижается в диапазоне (0,0011...0,00095)%/ч. Результаты агрегирования по каждому техническому диагностированию ТЭО свидетельствуют о возможности выделения потенциально опасных агрегатов.

На *втором* иерархическом уровне из-за отсутствия априорной информации о струк-

туре и параметрах математических моделей изменения ТС ТЭО выясняется степень нелинейности связи входных и выходных оптимальных моделей ТС, их стационарность и стационарная связанность [4]. Необходимая информация создается построением двумерных интервальных рядов, по которым вычисляются основные статистики, регрессии (рис. 5а и 5б) и дисперсионные отношения.

Линейная статистическая взаимосвязь между оптимальными агрегированными моделями U_y и U_x подтверждается также критериями, значения которых намного превосходят критическое значение, равное для вероятности 0,95 и числа степеней свободы $k_1 = n-k; k_2 = k-2, F_T = 5,7664$. Построенные статические характеристики для оптимальных агрегированных моделей на выходе и входе аппроксимированы также линейными зависимостями с высоким уровнем достоверности (рисунок 6).

Из множества найденных корреляционных зависимостей ТС ТЭО по частоте появления выделены четыре авто- $R_{xx}(\tau), R_{yy}(\tau)$ и взаимно- ($R_{yx}(\tau)$ при $\tau \geq 0$ и $R_{xy}(\tau)$ при $\tau < 0$) корреляционных функций (КФ), характерными

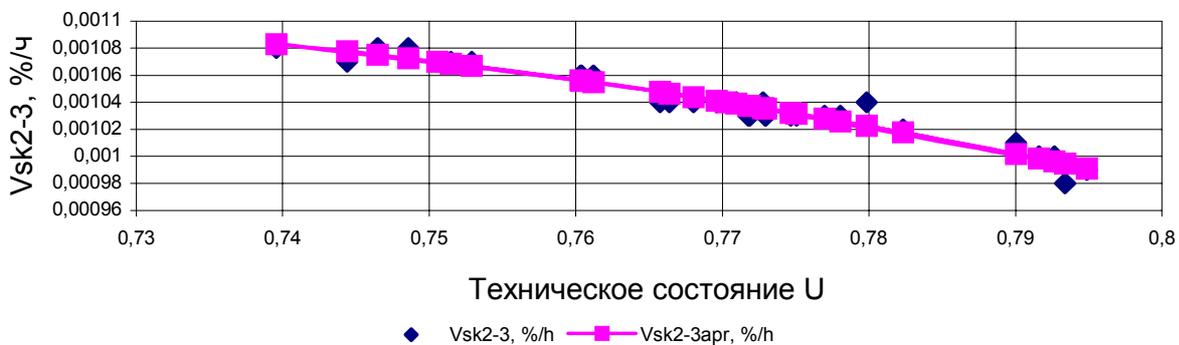


Рисунок 4. Зависимость интенсивности изменения ТС от его величины для энергетического котла по данным 2-го и 3-го диагностирований

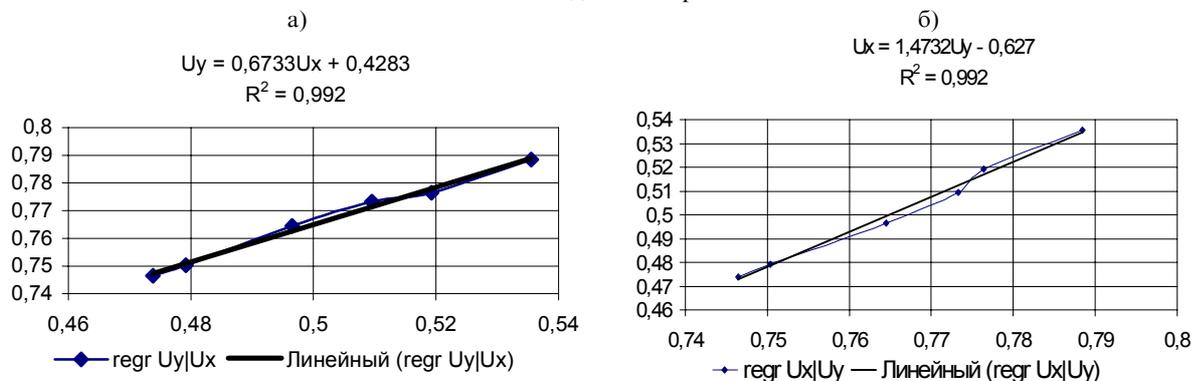


Рисунок 5. Графики прямой и обратной регрессий

особенностями которых являются стационарность и стационарная связанность случайных процессов на входе и выходе общей модели. Аппроксимирующие зависимости нормированных авто- и взаимно- КФ технического состояния промышленных объектов увеличиваются по сложности описания: экспоненциальные, экспоненциально косинусные, экспоненциально полиномиальные и экспоненциально косинус-синусные. Рассчитаны опорные точки авто- и взаимно- КФ изменения ТС энергетического котла по результатам диагностирования, по которым подобраны оптимальные по минимаксному критерию аппроксимирующие зависимости (рисунок 7).

Нахождение аналитических моделей изменения ТС ТЭО, предусмотренное на **3-м уровне**, предполагает статистическую постановку задачи, но с входной $U_x(t)$ и выходной $U_y(t)$ оптимальными агрегированными моделями как случайными функциями времени. Определение аналитических моделей сводится к нахождению оценки оператора

$v(t)$ в виде импульсной переходной функции, характеризующей интенсивность изменения ТС при обеспечении близости случайных функций $U_y^*(t)$ выхода модели к случайной функции $U_y(t)$, являющейся выходной переменной объекта. Использован критерий близости случайных функций в виде функции потерь $\rho[u_y(t)u_y^*(t)]$, на математическое ожидание (МО) которой наложено требование минимума:

$$M\{\rho[u_y(t)u_y^*(t)]\} = \min. \quad (1)$$

Критерий минимума среднего риска (1) будет выполнен, если потребовать минимум МО функции потерь при данной реализации случайной агрегированной модели на входе. С учетом нормированности предложенных аппроксимирующих корреляционных зависимостей, стационарности и стационарной связанности случайных функций $U_y(t)$ и $U_x(t)$ интенсивность изменения ТС ТЭО при бесконечном интервале наблюдения найдется из интегрального уравнения по типу Винера – Хопфа, но с агрегированными моделями:

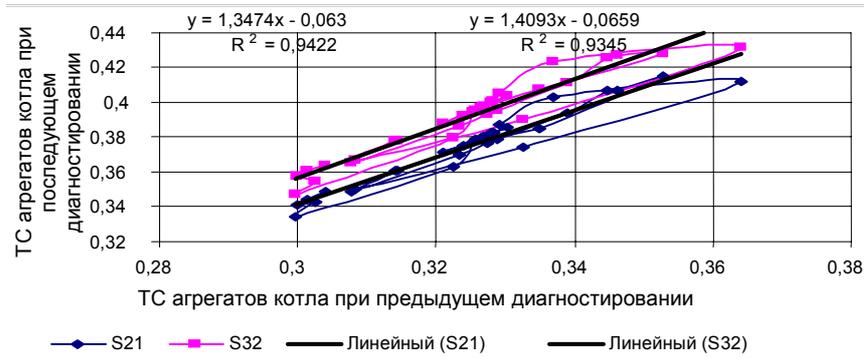


Рисунок 6. Статические характеристики ТС энергетического котла: S21 – по результатам 1-го и 2-го, а S32 – по результатам 2-го и 3-го диагностирования

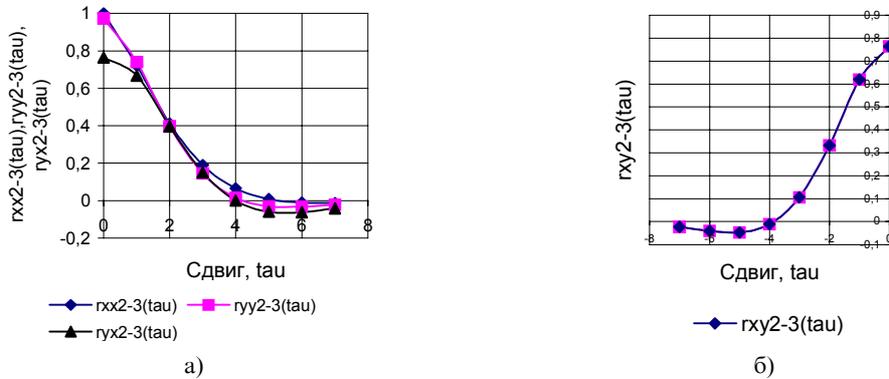


Рисунок 7. Графики авто- $r_{xx2-3}(\tau)$, $r_{yy2-3}(\tau)$ и взаимно- $r_{xy2-3}(\tau)$ при $\tau \geq 0$ (а) и $r_{xy2-3}(\tau)$ при $\tau < 0$ (б) корреляционных зависимостей по агрегированным моделям 2-го и 3-го диагностирования

$$\int_0^{\infty} v(\tau) \cdot r_{xx}(t-\tau) \cdot d\tau = r_{yx}(t),$$

$$-\infty < t < \infty, v(\tau) = 0 \text{ при } \tau < 0. \quad (2)$$

Из теории (Н.С. Райбман и др.) известно, что интегральное уравнение Фредгольма 1-го рода типа (2) сводится путем декомпозиции авто- и взаимно- КФ на две составляющие при $t \geq 0$ и $t < 0$ к интегральному уравнению Вольтерра 1-го рода, аналитически решаемому с помощью преобразования Лапласа.

Поскольку выбранные аппроксимирующие корреляционные зависимости представляют собой аналитические функции входной и выходной агрегированных моделей и допускают аналитическое продолжение на положительную ось, то уравнение (2) имеет место для всех t , в том числе и для $t \geq 0$. Проводя интегральные преобразования, получим

$$\int_0^t v(\tau) \cdot [r_{xx}^+(t-\tau) - r_{xx}^-(t-\tau)] \cdot d\tau =$$

$$= r_{yx}^+(t) - r_{yx}^-(t) \quad (3)$$

В этом случае решение (3) всегда существует, и притом оно единственное. Применяв прямое преобразование Лапласа и учтя теорему умножения для свертки оригиналов, получим выражение для нахождения передаточной функции (ПФ) $G(s)$:

$$G(s) \cdot [r_{xx}^+(s) - r_{xx}^-(s)] = r_{yx}^+(s) - r_{yx}^-(s). \quad (4)$$

Зная ПФ, с помощью обратного преобразования Лапласа находим аналитические модели изменения технического состояния ТЭО. Предложенное множество в целом состоит из 64-х аналитических моделей ТС, которые систематизированы по трем критериям: классу, типу и группе. Математические модели ТС энергетического котла отнесены по данным 1-го и 2-го диагностирования к 3-му классу, 4-м типу и группе, а по данным 2-го и 3-го диагностирования – к 4-му классу, типу и группе и после преобразований получены в численном виде. Устранение нулей и полюсов в числителе и знаменателе с положительной вещественной частью и ограничение до 2-й степени числителя позволяет получить после преобразований выражения для оптимальных с позиции физической реализации ПФ:

$$G_{2-3f}(s) = 0,772 \frac{s^2 + 0,556s + 0,468}{s^3 + 2,022s^2 + 1,175s + 0,692}. \quad (5)$$

С использованием единичного ступенчатого сигнала найдены соответствующие переходные функции, отражающие изменение ТС энергетического котла по мере увеличения наработки:

$$u_{1-2}(t) = 0,145 - 0,031 \cos(0,619 \cdot t) e^{-0,268t} +$$

$$+ 0,234 \sin(0,619 \cdot t) e^{-0,268t} - 0,114 e^{-2,155t}; \quad (6)$$

$$u_{2-3}(t) = 0,522 - 0,471 e^{-1,552t} -$$

$$- 0,051 \cos(0,625 \cdot t) e^{-0,235t} +$$

$$+ 0,046 \sin(0,625 \cdot t) e^{-0,235t} \quad (7)$$

Модели интенсивностей изменения ТС металла энергетического котла получены с использованием обратного преобразования Лапласа от физически реализуемых ПФ:

$$V_{1-2}(t) = 0,245 e^{-2,155t} +$$

$$+ 0,153 \cos(0,619 \cdot t) e^{-0,268t} -$$

$$- 0,044 \sin(0,619 \cdot t) e^{-0,268t};$$

$$V_{2-3}(t) = 0,732 \cdot e^{-1,552t} +$$

$$+ 0,04 \cos(0,625 \cdot t) e^{-0,235t} +$$

$$+ 0,021 \sin(0,625 \cdot t) e^{-0,235t} \quad (9)$$

Построены идентифицированные как совокупности графиков технического состояния и модуля интенсивности его изменения, развернутые по наработке с учетом проведенных диагностирования (рисунок 8).

Точность полученных аналитических моделей определяется систематическими ошибками и вероятностными характеристиками случайных ошибок выходной переменной. Общая задача исследования точности предполагает знание МО m_{Ux} и стандартного отклонения σ_{Ux} оптимальной агрегированной модели на входе и аналитической модели изменения ТС объекта определенного класса, типа и группы предложенной классификации. Необходимо найти МО $m_{Uy}(t)$ и дисперсию D_{Uy} выходной переменной и сопоставить с МО $m_y^*(t)$ и $D_y^*(t)$, найденными по оптимальной выходной агрегированной модели. Оценки $m_{Uy}^*(t)$ и $D_{Uy}^*(t)$ соответствующего стационарного случайного процесса,

обладающего свойством эргодичности, вычисляются по одной реализации на достаточном по длительности интервале (0; T) как средние значения:

$$m_{U_y}^*(t) = \frac{1}{T} \int_0^T u_y(t) dt;$$

$$D_{U_y}^*(t) = \frac{1}{T} \int_0^T [u_y^o(t)]^2 dt \quad , \quad (10)$$

где $u_y(t)$ – реализация случайного процесса на выходе математической модели; $u_y^o(t) = u_y(t) - m_{U_y}^*$ – центрированная реализация выходного процесса.

Такая задача решается различными способами, но в данном случае целесообразен метод компьютерного моделирования в интегрированной среде визуального моделирования (VisSim), в которой организовываются блоки вычисления МО и дисперсии выходной переменной. Для этого физически реализуемая ПФ преобразуется в обыкновенное дифференциальное уравнение операторной формы, из которого выражается выходная переменная и находятся начальные условия для интегральных сумм, а правая часть переписывается в форме с операторами однократного интегрирования и реализуется аналоговая модель. При подаче на ее вход случайной функции $U_x(t)$, имеющей нормальный закон распределения, а следовательно, найденное по входной оптимальной агрегированной модели МО m_{U_x} и стандартное отклонение σ_{U_x} , находятся значения $m_{U_y}^*$ и $D_{U_y}^*$ в конце интервала наблюдения T. Сопоставляя полученные значения с m_{U_y} и D_{U_y} , найденными непосредственно по оптимальной выходной модели $U_y(t)$, производится статистическая оценка точности идентификации ТС ТЭО.

Подавая на вход $1(t)$, $\delta(t)$ или $u_x(t)$ реализованной в интегрированной среде аналоговой модели с блоками вычисления $m_{U_y}(t)$ и $D_{U_y}(t)$, на ее выходе регистрируем соответственно переходную функцию ТС котла, интенсивность его изменения или случайную функцию $u_y(t)$. Сопоставление полученных в процессе моделирования значений переходных и импульсных переходных функций позволяет оценить погрешности найденных аналитических моделей ТС, которые для исследованных объектов не превышают 1%.

Результаты моделирования показывают существенное возрастание $m_{U_y}^*(t)$ и $D_{U_y}^*(t)$ с ростом m_{U_x} и F_{U_x} при подаче на вход оптимальной агрегированной модели $U_x(t)$. Сопоставление модельных данных, полученных с входной агрегированной моделью, и данных по выходной агрегированной модели по окончании интервала наблюдения T показывает, что максимальная погрешность аналитических моделей ТС не превышает 4,2%.

Полная имитационная модель позволяет также решить задачу прогнозирования ТС, соответствующую **4-му уровню**. Сначала построенные кривые $m_{U_y}^*(t)$ и $D_{U_y}^*(t)$ аппроксимированы линейной моделью $m_{U_y}^*(t) = a + bt$ с коэффициентами аппроксимации: $a = 0,00091$ и $b = 0,00057$ и соответствующей квадратичной моделью $D_{U_y}^*(t) = c + d \cdot t + e \cdot t^2$ с коэффициентами $c = 0,004e^{-1}$; $d = -1,463e^{-5}$; $e = 6,631e^{-8}$. Стандартная ошибка аппроксимации не превышает 0,006, а коэффициент корреляции не ниже 0,979. Затем, задаваясь временем прогнозирования, вычисляются прогнозные значения $m_{U_{yпр}}(t)$ и $D_{U_{yпр}}(t)$ ТС исследуемого объекта.

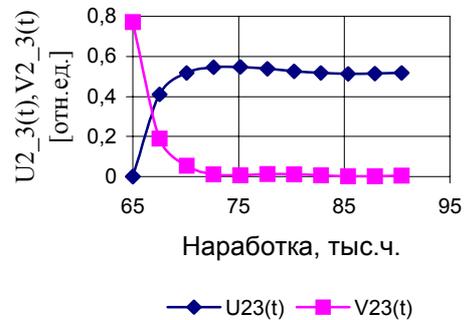
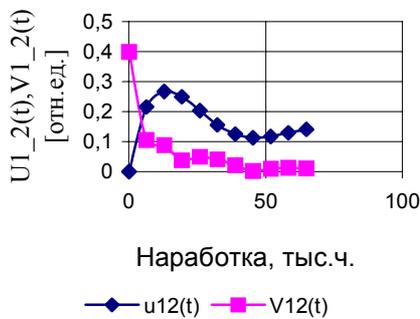


Рисунок 8. Идентограммы, построенные по результатам 1-го и 2-го (а), 2-го и 3-го (б) диагностирования

Для выполнения описанных процедур выбраны и использованы современные программные средства компьютерной математики, интегрированная среда визуального моделирования и экспертная система в области аппроксимации функций, а также разработан соответствующий программный комплекс [3-4]. Структура замкнутой АСУ ТС ТЭО основана на многомодульном и функциональном программном комплексе. Аналитическая идентификация ТС ТЭО достигается при выполнении следующих основных операций: выбор, считывание и анализ БД по объекту идентификации и наработке (тыс. часов); автоматизированный покомпонентный, поэлементный, поагрегатный и погрупповой расчет степени повреждения металла; статистический анализ в виде точечных и интервальных с 95% достоверной вероятностью характеристик ТС потенциально опасных элементов и агрегатов; сохранение конечных результатов; представление полнофункциональной гипертекстовой справки и др.

Эффективность функционирования ТЭО при автоматизированной аналитической идентификации ТС [2] найдена сравнительной оценкой комплексного показателя по трем важным характеристикам: надежность функционирования, стоимость эксплуатации и поставка тепловой энергии. На этапе длительной эксплуатации ТЭО с ухудшением ТС надежность функционирования объекта снижается, но с использованием результатов аналитической идентификации ТС она снижается существенно меньше за счет своевременного и оперативного воздействия на аг-

регаты с ухудшенными техническими характеристиками.

Таким образом, научно обоснована методология аналитической идентификации технического состояния ТЭО, предусматривающая: а) декомпозицию с учетом конструктивных особенностей на существенные элементы; б) формирование комплексной по проведенным диагностированиям базы данных в табличной и схемной (графической) формах с характеристикой условий эксплуатации, используемых марок стали, наработки и дефектности; в) выбор и нахождение аппроксимирующих зависимостей, характеризующих безотказность, жаростойкость и механические свойства металлов; г) создание агрегатов с одинаковым количеством элементов (95...104) с использованием основных агрегированных параметров и формирование на их основе температурной, надежности и механической компонент; д) нахождение из компонентных моделей: аддитивной, мультипликативной и комбинированной с выбором по критерию минимума среднего риска оптимальной; е) статистический анализ агрегированной, групповой (гибы, стыки и трубы) и общей степени повреждения металла.

Это позволяет построить перспективные графики проведения технического диагностирования, существенно повысить равномерность ежегодно обследуемых объектов, а также сократить объемы дефектоскопии и ремонтных работ за счет возможности осуществления мониторинга за изменением ТС до и после ремонтов, возможности прогнозирования ТС и показателей надежности.

Список использованной литературы:

1. Владов Ю.Р., Кушнаренко В.М., Кандыба Н.Е., Степанов Е.П., Владова А.Ю. Идентификация технического состояния теплоэнергетического оборудования: Монография. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. - 200 с.
2. Владов Ю.Р. Аналитическая идентификация технического состояния и эффективность функционирования промышленных объектов // Автоматизация в промышленности, 2005, №4. – С. 9-12.
3. Владов Ю.Р. Аналитическая идентификация технического состояния газоконденсатопроводов. Теоретические и практические аспекты научного направления. Вестник Оренбургского государственного университета. №2, том 2, 2006. – С. 95-102.
4. Владов Ю.Р., Кушнаренко Е.В., Владова А.Ю. Модели и методы аналитической идентификации. Агрегированный подход // Третья международная конференция по проблемам управления: Тезисы докладов в двух томах. Том 1. -М.: Институт проблем управления РАН, 2006. – С. 102.

25.09.06 г.