УДК 621.791.05:620.179

А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, О. Н. Дегтярева, М. В. Купченко

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАРАБАНОВ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

На основе анализа требований правил промышленной безопасности, была разработана функциональная модель управления безопасной эксплуатацией барабанов котлов высокого давления и предложен новый методологический подход к оценке ресурса длительно работающего основного и наплавленного металла барабанов котлов. Это позволило выявить недостающие информационные взаимосвязи между акустическими и магнитными характеристиками и параметрами микроструктуры, а также впервые показать возможность их количественного описания.

При разработке функциональной модели была использована методология структурного анализа *(Structured Analysis & Design Technique)* [1–3]. Решению этой проблемы соответствует методология стандарта IDEF0, которая представляет собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной модели объекта в какой-либо предметной области.

Разработанная модель отображает функциональную структуру объекта, т.е. производимые им действия и связи между этими действиями. Результатом применения методологии является модель, которая состоит из диаграмм, фрагментов текстов и словаря терминов, имеющих ссылки друг на друга [1–3].

Главными компонентами модели являются диаграммы, все функции и связи между этими функциями представлены как блоки и дуги. Место соединения дуги с блоком определяет тип связи. Положение стрелки по отношению к прямоугольнику показывает конкретную роль взаимодействия (рис. 1).

Разработка модели начинается с определения функции высшего порядка. Как отмечалось ранее, эксплуатационная надежность барабанов котлов зависит от большого числа факторов, поэтому логичным является выделение такой главной функции, как «Управлять безопасной эксплуатацией барабанов котлов высокого давления». На рис. 2 представлена контекстная (родительская) диаграмма или диаграмма – предок, состоящая из одного блока и определяющая точку зрения и цель создания модели в ее пояснительном тексте.

В качестве ресурса принят расчетный срок службы барабана котла высокого давления (до начала эксплуатации). Продуктом выполнения функции является также срок эксплуатации оборудования, но уже с учетом определенного времени работы при заданных параметрах (либо при их изменениях и нарушениях), или остаточный срок службы или индивидуальный остаточный ресурс – РО. Две стрелки на выходе из блока означают, что ресурс после определенной наработки может быть представлен в одном из двух видов: ресурс остаточный и ресурс послеремонтный – РП.

Рис. 1. Общий вид диаграммы

Модель стандарта IDEF0 начинается с представления системы как единого целого – блока-прямоугольника с взаимодействиями, простирающимися за пределы системы.

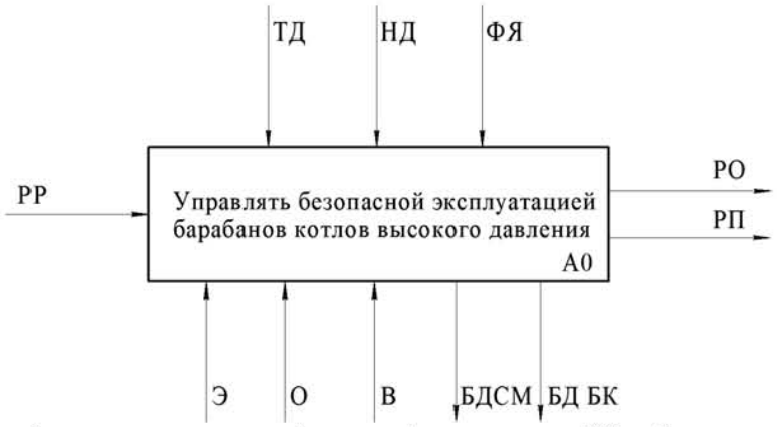

Рис. 2. Контекстная диаграмма управления безопасной эксплуатацией барабанов котлов высокого давления

В качестве управляющих воздействий приняты нормативно – техническая документация (НД) на барабаны котлов (ГОСТы, ОСТы, СО и РД Госгортехнадзора России) и эксплуатационно-техническая документация (ТД), включающаяся в себя проектно – конструкторскую документацию, паспорт, инструкции по эксплуатации, ремонтную документацию (сведения о заменах, сертификаты на основной и сварочный материалы, технологии ремонта, сведения о качестве сварки и др.), заключения и результаты предыдущих технических диагностик и др.

Механизмами исполнения функции выступают реальные режимы эксплуатации, от параметров которых зависит состояние металла на данном этапе работы, и экспертиза, проводимая в заданные НТД сроки и план ремонтно-восстановительных работ. В рамках данной контекстной модели, с целью реализации механизмов исполнения, проводится запрос к базе данных барабанов котлов высокого давления (БД БК) и к базе данных состояния металла (БДСМ). Запрос также выполняется с целью получения информации о безопасной эксплуатации барабанов котлов высокого давления на разных стадиях службы, об условиях их работы, о характере изменения физико-механических характеристиках и микроструктуры и других эксплуатационных параметров, включая и результаты экспертиз.

Таким образом, реализовать главную функцию по управлению безопасной эксплуатацией барабанов котлов можно, если знать реальные режимы эксплуатации и состояние металла, т.е. в категориях и терминах модели должен быть известен характер изменения физико-механических характеристик и микроструктуры используемых материалов во времени.

Расчетный ресурс (РР) барабанов котлов определяется с учетом проектных режимов и усло-

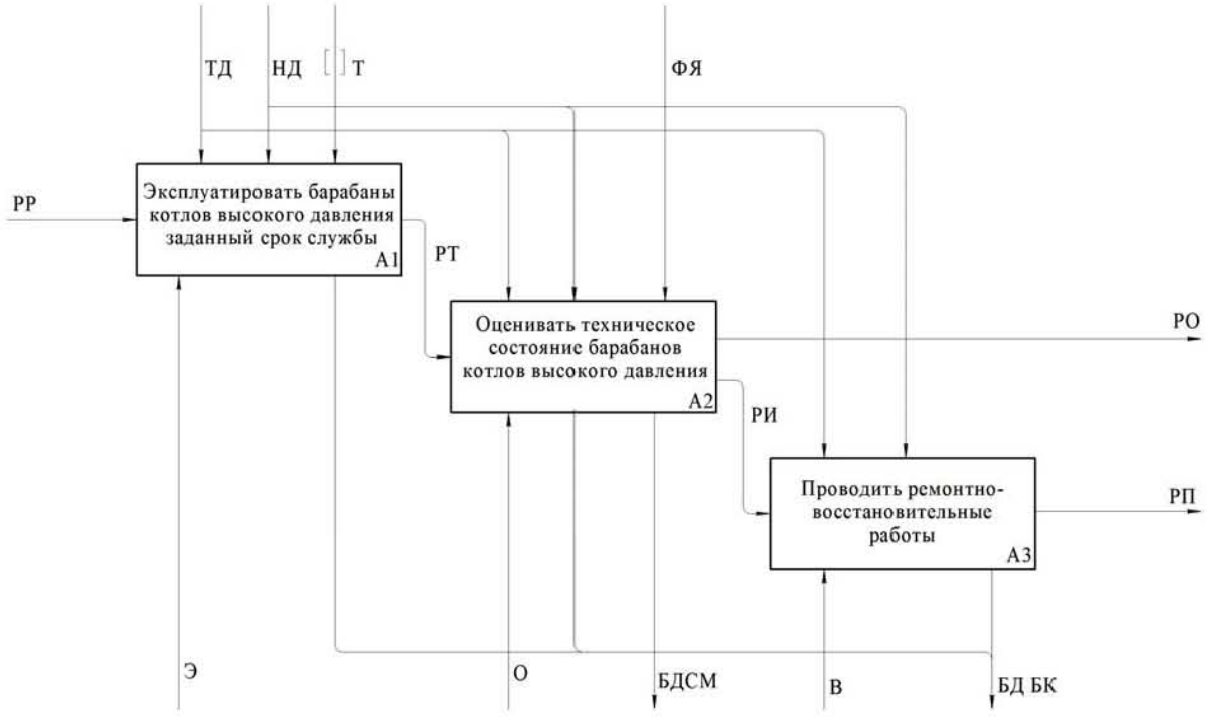

Рис. 3. Первый уровень детализации контекстной диаграммы (А0)

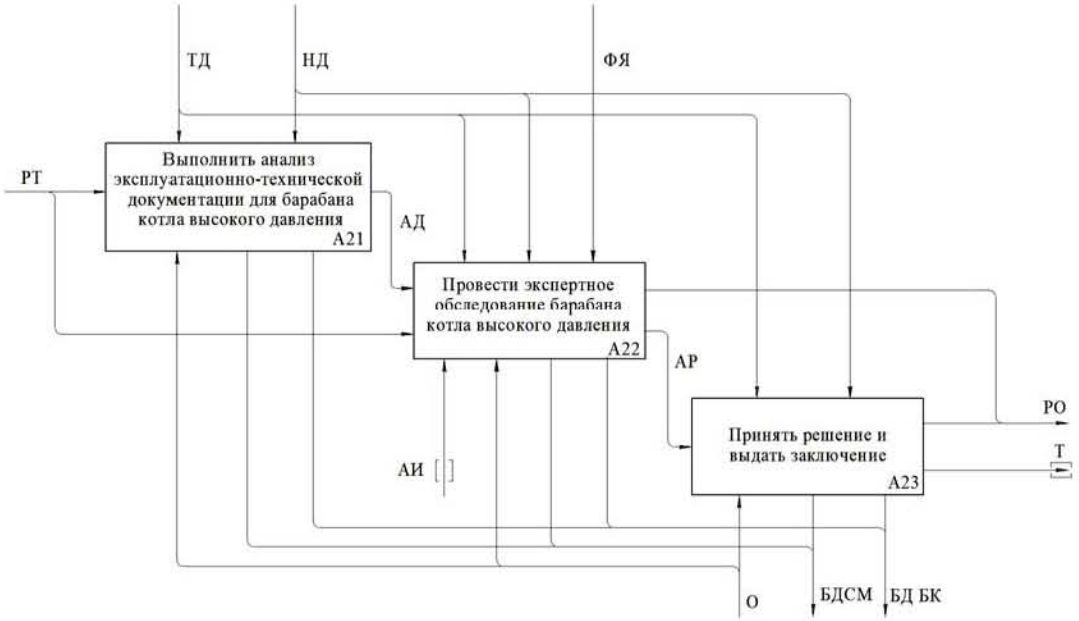

Рис. 4. Детализация блока оценки технического состояния барабанов котлов высокого давления (А2)

вий эксплуатации и др. Эксплуатацию технических устройств (А1) проводят согласно требований ТД и НД (рис. 3) при фактических условиях и режимах (Э). После некоторого срока наработки техническое состояние барабана изменяется, соответственно уменьшается и ресурс. Для определения индивидуального (остаточного) ресурса (РО) экспертизрй (О выполняют оценку реального технического состояния барабана котла (А2).

Одна из главных составляющих экспертизы заключается в техническом диагностировании, при проведении которого значительное внимание уделяется физико-химическим процессам и явлениям (ФЯ), происходящим в металле при длительной эксплуатации. Запросы в базы данных (БД БК) дают экспертам информацию о процессах в металле аналогичного оборудования после равных сроков и условий эксплуатации, о структуре металла и его физико-механических характеристиках, о местах возможного появления эксплуатационных дефектов. После исчерпания ресурса необходимо проводить замену деталей или узлов оборудования, либо всего технического устройства. Ремонты (А3) выполняют согласно плану ремонтно-восстановительных работ (В).

Туннельные стрелки (Т) указывают на возможность изменения режимов работы оборудования для повышения его безопасной эксплуатации при выявлении допустимых дефектов во время проведения экспертизы (О).

Оценка технического состояния (рис. 4) состоит из анализа эксплуатационно-технической документации (А21), проведения экспертного обследования (А22), принятия решения и выдачи заключения (А23) с определением срока эксплуатации на основании анализа результатов текущей экспертизы (АР) и с учетом информации от запросов из баз данных.

Экспертное обследование барабанов котлов (А22) после детализации (рис. 5) представляет собой: программу экспертного обследования (А221), составленную на основании требований НД и ТД, ФЯ и информации из баз данных (БД БК и БДСМ), результатов анализа эксплуатационно-технической документации; инструментального контроля (А222); моделирование (А223) напряженно-деформированного состояния (НДС) методом конечных элементов (МКЭ) по результатам инструментального контроля (РК1); выбор критерия оценки ресурса металла (А224) на основании результатов моделирования (РК2) и инструментального контроля (РК1) для оценки индивидуального (остаточного) ресурса (РО).

Туннельные стрелки (Д) указывают на возможность изменения программы и объемов экспертного обследования в сторону их увеличения при выявлении различных допустимых, либо недопустимых дефектов. Программа ПЭ оказывает управляющее воздействие на А222,А223 и А224.

Комплекс существующих неразрушающих методов исследования (КМ) и физико-механические характеристики, а также результаты металлофизических исследований металла барабанов котлов (ФМ), в соответствии с этой моделью, представляют собой исходные данные для определения состояния металла по акустическим и магнитным характеристикам (блок А225). Механизмом реализации является процесс акустических и магнитных измерений (АИ) под управляющим воздействием физико-химических явлений (ФЯ), происшедших в исследованном металле за определенный период эксплуатации (рис. 5).

Определение состояния металла осуществляется в результате и обоснования выбора акустического и магнитного метода и соответствия его (А2251), определения акустических и магнитных характеристик исследуемого металла (А2252) рис. 6, разработки математических моделей процесса взаимодействия изучаемых характеристик

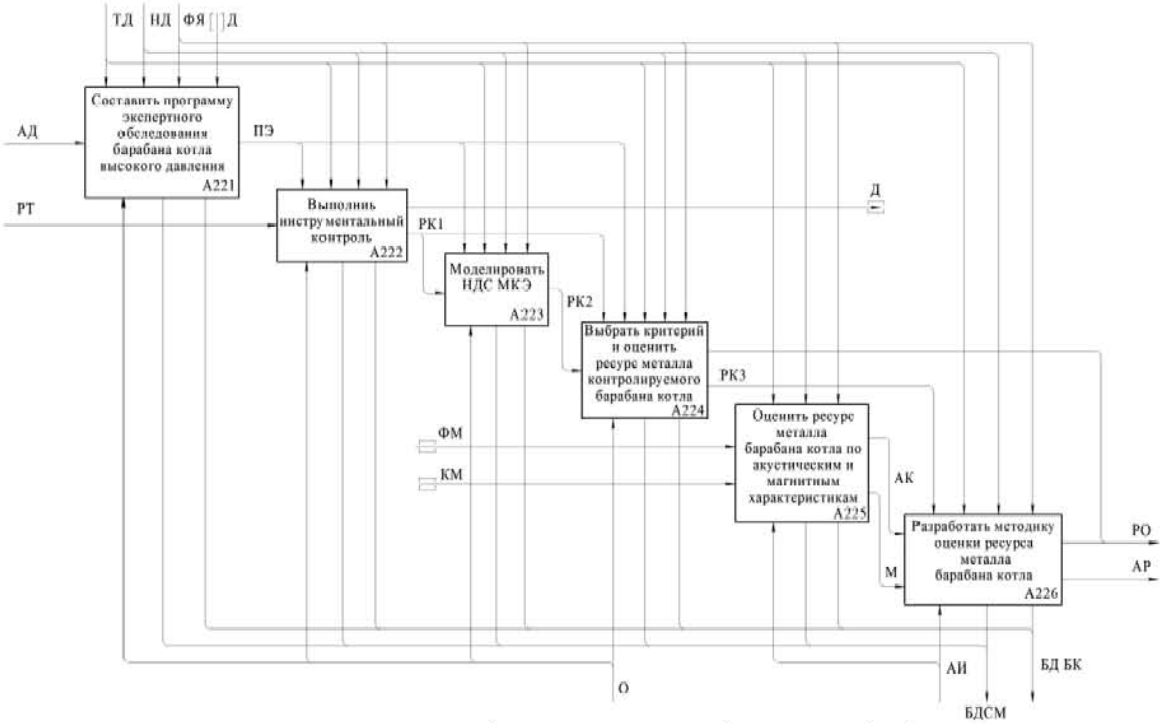

Рис. 5. Детализация блока экспертного обследования (А22)

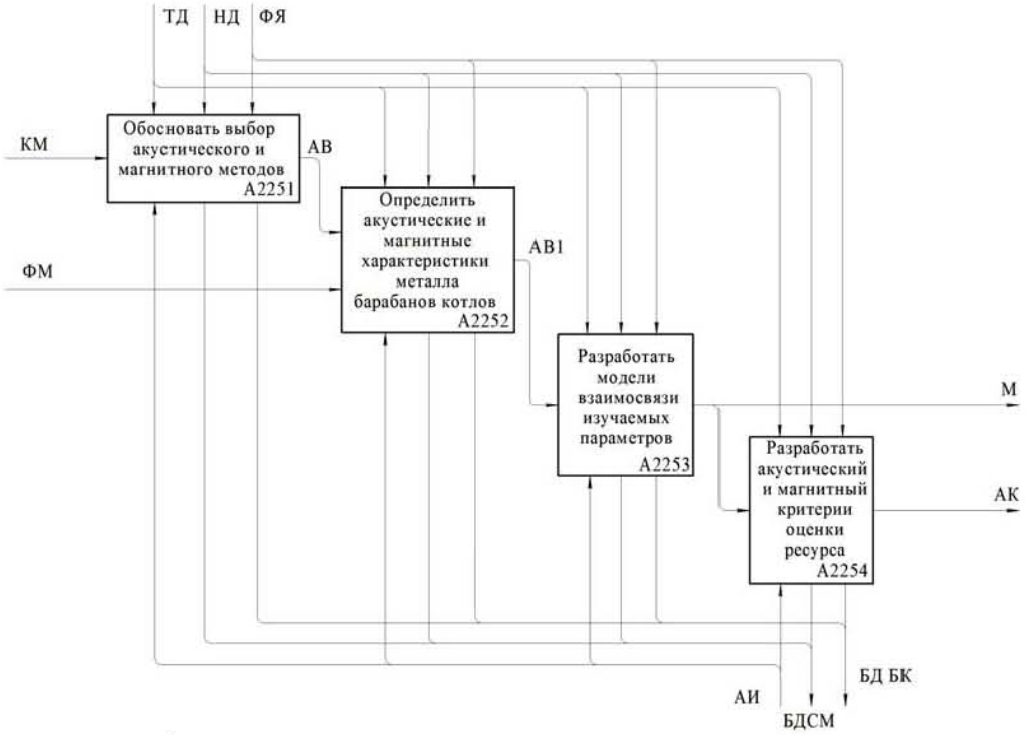

Рис. 6. Детализация блока определения состояния металла по акустическим и магнитным характеристикам (А225)

(А2253) и разработки критерия оценки ресурса металла (А2254). Математические модели и критерий оценки ресурса металла служат исходными данными для разработки методики оценки ресурса длительно работающего основного и наплавленного металла барабана котла (А226). Результаты экспериментальных исследований передаются по АВ1 в блок А2253, где методами математического моделирования разрабатывают модели взаимодействия изучаемых характеристик (рис. 6). Математические модели через М связаны с блоком А2254 для разработки интегрального критерия оценки ресурса длительно работающего основного и наплавленного металла барабанов котлов высокого давления. Критерий оценки ресурса (АК) является основой для создания экспресс-метода (А226) оценки ресурса металла. Исходными данными для разработки методики (А226) являются математические модели (М) и критерии (акустический и магнитный) (АК) использование которых дает воз-

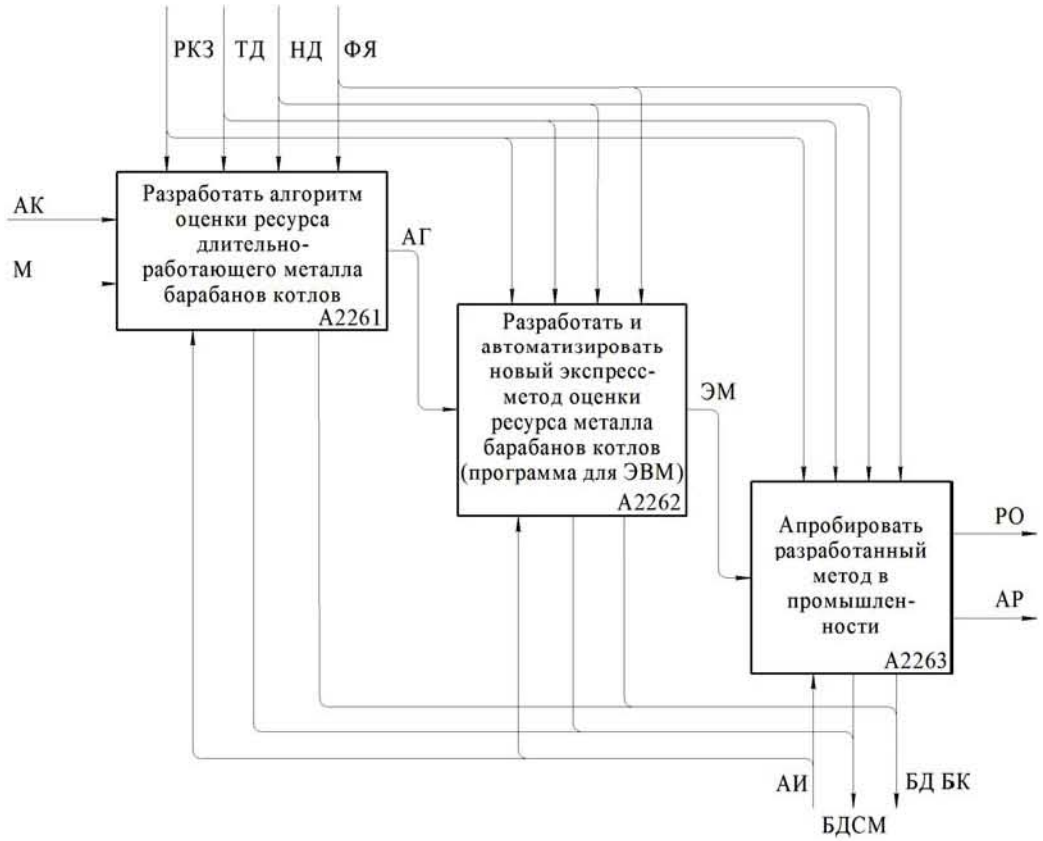

Рис. 7 Детализация блока разработки методики оценки ресурса длительно работающего основного и наплавленного металла барабанов котлов (А226)

можность построить алгоритм оценки ресурса (А2261) и по АГ передать информацию в А2262 для разработки экспресс-метода (рис. 7).

Для внедрения экспресс-метода проводят его апробацию (А2263) по ЭМ первоначально на вырезках из различных участков барабана (поврежденных и после различных сроков эксплуатации) с исследованием микроструктуры, определением физико-механических характеристик. Положительные результаты апробации дают возможность широкого применения данного метода в промышленности для оценки ресурса длительно работающего основного и наплавленного металла барабанов котлов (РО).

Выводы

1. Применяя разработанный метод, можно значительно сократить объемы работ проведения экспертизы по существующей ныне схеме.
2. Настоящая функциональная модель управления дает четкое представление о существующем и разработанном выше подходе к прогнозированию работоспособности длительно работающего металла. Особенностью рассматриваемой иерархии моделей является подробная детализация этапов экспертизы.
3. Разработанная модель, как элемент информационной модели металловедения и технического диагностирования, может служить основой АС прогнозирования работоспособности длительно работающего металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марка, Д. А.* Методология структурного анализа и проектирования: Пер. с англ. / Д. А. Марка, К. МакГоуэн. – М.: 1993. – 240 с.
2. *Вендров, А. М.* CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. – М.: Argussoft Co, 1999. – 86 с.
3. *Братухин, А. Г.* CALS-стратегия наукоемкого машиностроения / Братухин А. Г. // Технология машиностроения, 2001, №1. С.5–17.

□ Авторы статьи:

Смирнов Александр Николаевич, докт. техн. наук, проф. каф.технологии машиностроения КузГТУ. Тел. (384-2) 36-45-27

Абабков Николай Викторович, инженер каф.технологии машиностроения КузГТУ. Email: n.ababkov@rambler.ru

Дегтярева Ольга Николаевна, старший преп. каф. технология машиностроения КузГТУ. . Email:don.tma@kuzstu.ru

Купченко Марина Валерьевна, старший преп. каф. технология машиностроения КузГТУ. Тел. (384-2) 39-63-75