

Создание подсистемы для решения задач управления ресурсом в системе интегрированной логистической поддержки реакторных установок

В.В. Банкрутенко, М.Н. Ереев, А.В. Козин, И.В. Малиновский, В.А. Панов

АО «ОКБМ Африкантов»

Управление жизненным циклом изделия включает в себя широкий круг задач, решаемых в процессе проектирования, изготовления, эксплуатации и утилизации. Наибольшее количество задач приходится решать на стадиях проектирования и изготовления.

Современные требования обеспечения высокого уровня безопасности в процессе всего жизненного цикла реакторных установок (РУ) требуют решения следующих основных задач:

- управления ресурсом (сроком службы) оборудования и систем. Переход на эксплуатацию оборудования и систем по их фактическому техническому состоянию;
- сокращения экономических затрат на проведение регламентных работ по периодическому освидетельствованию технического состояния оборудования и систем путем оптимизации межконтрольных интервалов;
- обоснования продления назначенного срока службы оборудования и систем на следующий временной интервал.

С точки зрения контролирования выработанного и остаточного ресурса конструктивных элементов эксплуатация РУ имеет ряд существенных особенностей по сравнению с другими ответственными инженерными объектами. Эксплуатационные условия оборудования и систем первого контура характеризуются нестационарными термосиловыми воздействиями, сопровождающимися для некоторых конструктивных элементов радиационными воздействиями и воздействиями среды теплоносителя. Ресурс конструктивных элементов по существу определяется ресурсом материала локальных зон с наибольшими темпами накопления повреждений и развития образовавшихся трещин по различным механизмам деградации материала, определяемым условиями эксплуатации РУ.

Доступ средств неразрушающего контроля технического состояния материала к этим зонам в процессе эксплуатации возможен только на стадиях изготовления и монтажа конструктивного элемента или, в отдельных случаях, при продлении назначенного срока службы оборудования и систем. В тоже время темпы накопления повреждений материала в этих зонах и их развитие в сильной степени зависят от реальной модели эксплуатации РУ и фактических физико-механических характеристик конструкционных материалов. В связи с этим разработка методов и средств математического моделирования механизмов деградации конструкционных материалов в процессе жизненного цикла изделия является сложной научно-технической проблемой.

Для решения проблемы контроля текущей поврежденности материала конструктивных узлов изделия и прогноза её развития до наступления предельного состояния в АО «ОКБМ Африкантов» создана техническая подсистема интегрированной логистической поддержки РУ, основанная на математическом сопровождении эксплуатации с оперативным мониторингом ее условий работы и нагруженности.

Система построена по модульному принципу и включает в себя ряд функциональных модулей и экспертную подсистему оценки выработанного и остаточного ресурса.

Структура системы включает в себя следующие основные компоненты:

1) База данных, предназначенная для сбора, обработки и хранения данных, необходимых для моделирования процессов накопления повреждений и контроля выработанного и прогноза остаточного ресурса РУ в процессе эксплуатации.

2) Методы и средства диагностики технического состояния материала элементов технического объекта, контроля качества изготовления, монтажа и ремонта оборудования;

3) Комплекс нештатных средств неразрушающего контроля, представляющий собой совокупность средств контроля, состоящих из устройств, датчиков, аппаратуры управления, обработки сигналов и регистрации результатов контроля, методик контроля и вспомогательных средств, и предназначенный для проведения предэксплуатационного и периодического контроля материала элементов РУ в доступных местах;

4) Методические и программные средства, обеспечивающие формирование фактической и прогнозируемой моделей эксплуатации РУ и индивидуально для каждой критической зоны контроль выработанного ресурса элементов РУ в процессе эксплуатации и прогноз остаточного ресурса.

Для математического моделирования механизмов накопления и развития повреждений разработаны программные средства, которые в виде модулей входят в состав вычислительного блока системы. Функцией данного математического блока является определение ресурсных характеристик оборудования РУ по фактической модели эксплуатации на базе математического моделирования процессов накопления повреждений в материале контролируемых зон по механизмам мало и многоциклового усталости, развития возможных дефектов, радиационного охрупчивания материала корпуса реактора, коррозионного растрескивания под напряжением.

Основным модулем системы интегрированной логистической поддержки РУ является база данных. Техническая характеристика базы данных определяется функциями подсистемы управления ресурсами ИЛП РУ, к которым относятся:

- сбор из различных источников большого количества данных, необходимых для оценки ресурсных показателей оборудования и систем в процессе эксплуатации;

- создание эффективной информационной системы для обеспечения в процессе эксплуатации мониторинга технического состояния с точки зрения эволюции остаточной прочности элементов РУ;

- информационная поддержка обоснования продления назначенных сроков службы и ресурса РУ на следующий временной интервал;

- информационная поддержка периодической оценки технического состояния, выработанного и остаточного ресурса конструктивных элементов РУ, определяющих их ресурс.

Универсальный программный модуль содержит полную информацию о РУ в течение всего его жизненного цикла. Схема взаимодействий базы данных представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - База данных системы по контролю ресурса

База данных системы формируется под каждую РУ и обеспечивает хранение следующей информации:

- общая структура РУ, конструктивных элементов, критических контролируемых зон;
- параметры отступлений от ЧТД критических элементов при изготовлении и монтаже, начальной поврежденности контролируемых зон;
- состав конструкционных материалов, их фактические физико-механические характеристики, параметры математических моделей деформирования, накопления повреждений, развития дефектов;
- параметры процессов деформирования, накопления повреждений, развития дефектов для контролируемой зоны в зависимости от режима модели эксплуатации с учетом фактического конструктивного исполнения и механических свойств конструкционных материалов;
- критерии предельных состояний для каждого критического узла;
- реальная модель эксплуатации РУ;
- проектная модель эксплуатации РУ;
- результаты термо- тензометрирования;
- результаты диагностики технического состояния материала элементов РУ периодически в процессе эксплуатации в доступных местах.

Все сведения о РУ структурированы и реализованы при помощи программных средств в виде следующих разделов:

- 1) описание структуры оборудования РУ;
- 2) справочник элементов оборудования;
- 3) справочник узлов элемента оборудования;
- 4) справочник опасных зон узла;
- 5) справочник режимов эксплуатации;
- 6) справочники модулей базы данных, описание свойств конструктивных материалов установки (справочник материалов).

Функциональное наполнение выше перечисленных разделов базы данных проводится на основе заполнения форм, приведенных на рисунке 2.

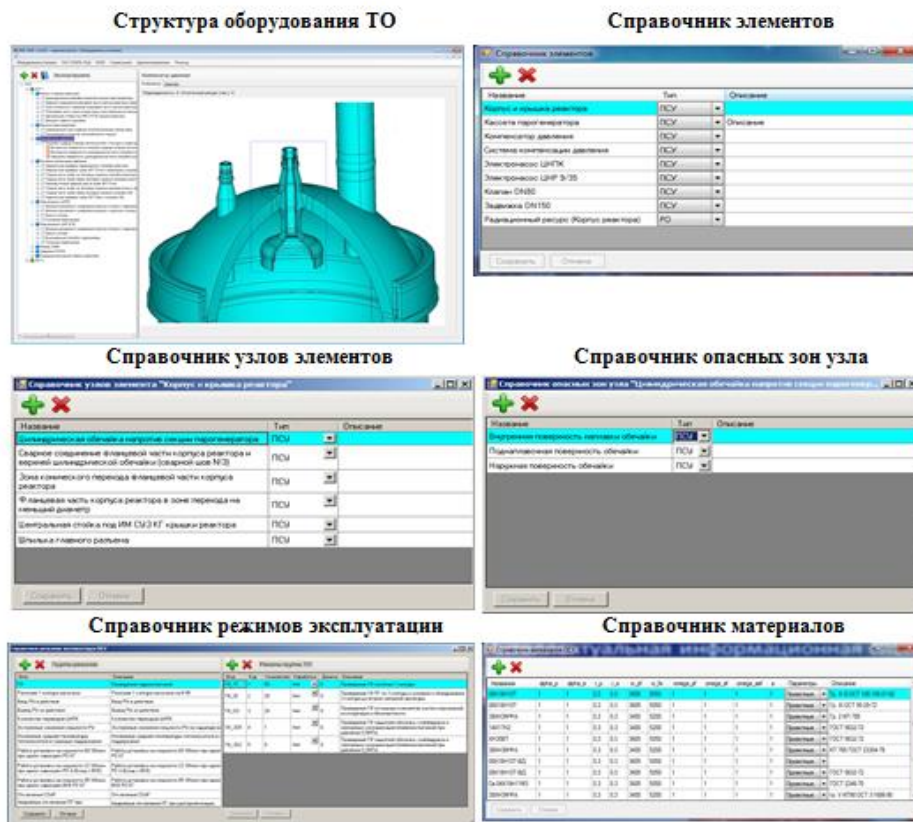


Рисунок 2 – Формы базы данных по контролю ресурса

База данных создается с использованием модульного принципа, обеспечивающего поэтапный сбор информации путем взаимодействия со всеми программными модулями на следующих стадиях жизненного цикла РУ: технический проект; рабочий проект; изготовление и монтаж оборудования, комплексные испытания; эксплуатация.

На стадии технического проекта осуществляется выбор и обоснование критических конструктивных элементов и узлов, лимитирующих ресурс РУ по условиям прочности, проводится обоснование заданного ресурса.

На стадии рабочего проекта осуществляется определение кинетики напряженно-деформированного состояния в упругопластической постановке критических элементов оборудования и систем для проектных режимов нагружения. Проводится расчетное моделирование процессов накопления повреждений в критических зонах для проектных режимов нагружения и формируется база данных на основе проектных материалов. Создается модуль формирования фактической модели эксплуатации РУ. Разрабатываются регламенты сбора данных по фактическим свойствам конструкционных материалов, об отклонениях от ЧТД и выявленных дефектах при изготовлении и монтаже. Осуществляется разработка проекта размещения системы термо-тензометрирования для уточнения фактической нагруженности элементов РУ и проекта размещения комплекса средств неразрушающего контроля технического состояния материала, текущей поврежденности, геометрии и расположения дефектов.

На стадии изготовления и монтажа оборудования и трубопроводов, комплексных испытаний РУ осуществляется сбор и обработка данных по фактическим свойствам материалов, об отклонениях от ЧТД и выявленных дефектах при изготовлении и монтаже.

Производится монтаж систем тензометрирования и термометрирования, проводятся испытания и обработка их результатов. По результатам этих работ проводятся уточненные расчеты тепломассопереноса, температурных полей, кинетики напряженно-деформированного состояния, процессов накопления повреждений для критических элементов оборудования и трубопроводов с учетом результатов термо-тензометрирования, начальной дефектности, фактических данных по геометрии и физико-механическим свойствам конструкционных материалов для проектных режимов нагружения и осуществляется корректировка базы данных.

На стадии эксплуатации осуществляется регистрация параметров работы РУ. С помощью модуля формирования фактической модели эксплуатации производится фиксация последовательности прохождения эксплуатационных режимов и занесение информации в базу данных, по зарегистрированной последовательности прохождения режимов эксплуатации производит расчет текущей поврежденности материала или определение размера имеющегося макроскопического дефекта в каждой контролируемой зоне критического оборудования РУ. На базе расчетов проводится контроль выработанного и прогноз остаточного ресурса. При необходимости производится обоснование возможности продления назначенных сроков службы или ресурса элементов РУ на следующий временной интервал, либо для заданного срока службы рекомендуется надлежащая модель эксплуатации, при которой реализуются темпы накопления повреждений, не приводящие на заданном временном интервале к достижению предельного состояния.

Структурированность и доступный интерфейс программного модуля обеспечивают удобный и быстрый доступ к информации о РУ. База данных допускает возможность расширения номенклатуры оборудования, документов вывода и запроса, методов анализа.

В системе предусмотрена защита от несанкционированного доступа в виде организации системы ролей, ограничивающих права пользователей. Редактирование базы данных является возможным для ограниченного круга пользователей.

База данных является банком знаний и необходимым компонентом вычислительного блока подсистемы интегрированной логистической поддержки РУ, функцией которого является определение ресурсных характеристик РУ. Оснащение РУ данной подсистемой позволит с высокой степенью надежности осуществлять оптимальное управление процессом исчерпания ресурса, принимать обоснованные решения о возможности продления назначенного срока службы, исключать риск внезапных отказов. Применение данной подсистемы позволит получить большой экономический эффект, поскольку даст возможность обоснованно продлевать назначенные ресурс и срок службы РУ без проведения дополнительных работ по диагностированию технического состояния его оборудования.