

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ
ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ
ПО УПРАВЛЕНИЮ
РЕСУРСОМ
ОБОРУДОВАНИЯ АЭС
В УСЛОВИЯХ ЭРОЗИОННО-
КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА

Обеспечение безопасной и надёжной работы оборудования АЭС должно базироваться на методики принятия решений по управлению рисками в течение всего жизненного цикла. Вопросы работы трубопроводных систем энергоблоков второго теплового контура, эксплуатирующихся в условиях эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ), существенно влияют на качество, стоимость и безопасность работы атомной станции в целом. В этой связи очень важным является наличие достоверной и долгосрочной практики наблюдений за состоянием критичного оборудования, а также применение развитых математических методов прогнозирования, опирающихся на физические или эмпирические модели исследуемого процесса.

Материал посвящен результатам научно-практического исследования по созданию отечественной системы поддержки принятия решений по управлению ресурсом оборудования АЭС, имеющей единую структурированную базу данных эксплуатационных характеристик и осуществляющей достоверный расчет интенсивности процесса ЭКИ, а также определяющей остаточный ресурс (безопасный срок жизни) элементов оборудования.

Магистр, Аспирант (2013-2015)

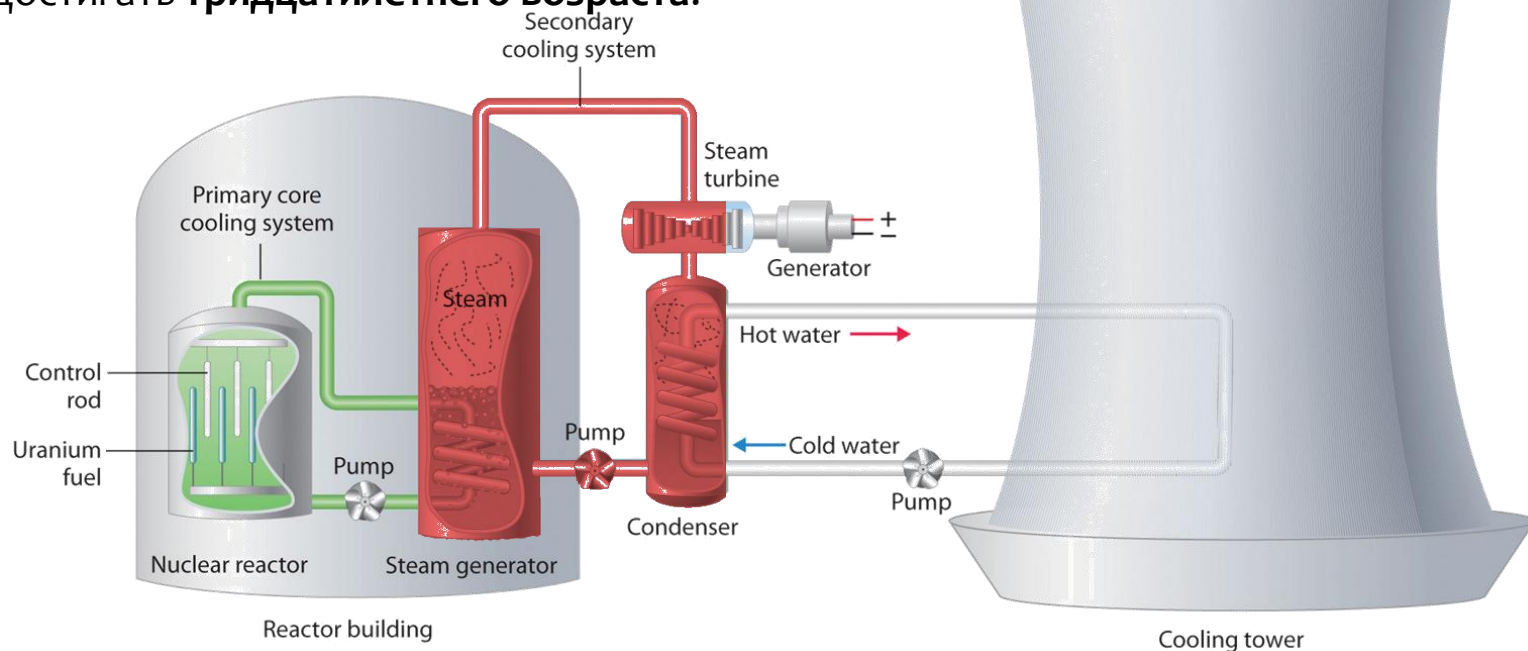
В.А. Федотов

Научный руководитель
декан ВФ, д.т.н., проф.

О.М. Гулина

Структура и работа основных элементов АЭС

Во всем мире, с каждым годом увеличивается количество АЭС, срок эксплуатации которых составляет более тридцати лет. Сейчас **эксплуатируется 440** блоков, из них **более 105** блоков старше тридцати лет. В течение следующих десяти лет каждый год от **15 до 30** блоков будут достигать **тридцатилетнего возраста**.



Среди набора конструктивных, технологических и других запроектных рисков, способных привести к аварии на подобных объектах, существенную опасность представляют дефекты оборудования и **трубопроводов второго контура энергоблоков АЭС**, образующиеся по эрозивно-коррозионному механизму (ЭКИ).



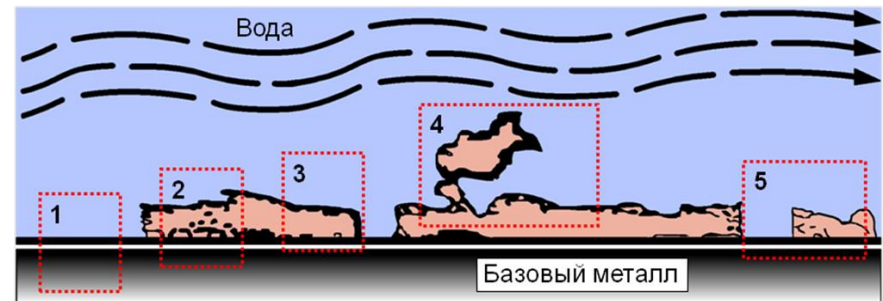
Процесс эрозионно-коррозионного износа металла

Эрозионно-коррозионный износ (ЭКИ)

или **Flow Accelerated Corrosion (FAC)** является наиболее распространенным механизмом повреждения оборудования и трубопроводов АЭС. Износ стенки трубопровода происходит в результате воздействия потоков как однофазной, так и двухфазной среды, а также из-за кавитации и капельной эрозии. Защитный слой Fe_3O_4 вымывается с поверхности стали непрерывным потоком воды или пароводяной смеси. Этот процесс происходит довольно медленно, однако при долгосрочном воздействии может привести к заметному утонению стенок труб и выходу из строя трубопровода.

Воздействие коррозии максимально при:

- Высокой температуре $130 - 180^\circ\text{C}$
- Низком pH
- Низкой концентрации кислорода
- Сложной геометрии элемента
- Низкой концентрации хрома и меди
- Высокой скорости теплоносителя



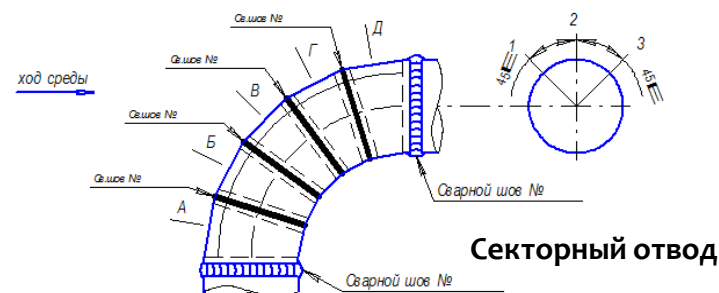
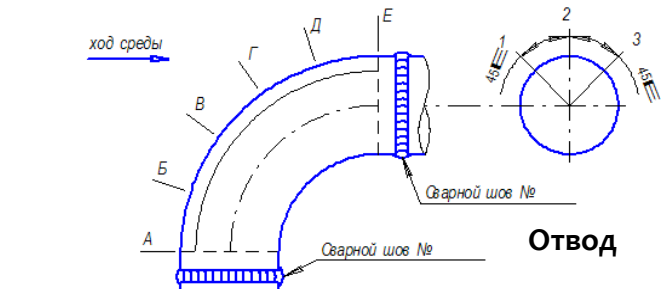
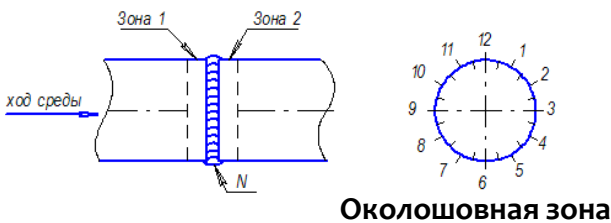
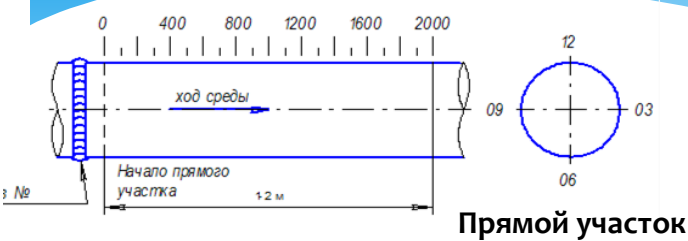


Замеры толщин и первичная обработка протоколов

Для определения степени износа элемента оборудования проводятся измерения толщин стенок, для чего на станциях разработаны и применяются регламенты по проведению регулярного контроля:

- Анализ протоколов замеров
- Первичная обработка полученных данных
- Определение мест локального повреждения
- Построение разверток (карт толщин)
- Прогнозирование остаточного ресурса

Важно, что на сегодня большая часть цепочки первичного контроля представлена **носителями бумажного формата** (акты, журналы, схемы, таблицы) и/или файлами стандартного офисного пакета (Word, Excel)



Толщиномер КРМ-Ц-Дельта



ПРОТОКОЛ (ЗАКЛЮЧЕНИЕ) № 497/0423/2 от 16.06.2005г.

- Объект контроля и зона контроля: Паропровод свежего пара. Отводы. Сч20, О530х38, О325х19, сч.278739 а 58, п.п.2.7.32.1. (металлы: Ф402, № стали, листовой металл: А, Чугун: 02, 03, 04, сталь: легированная сварочная, литейная)
- Цель контроля: Определение толщины металла.
- Метод контроля, объем контроля: УЗТ-100%, ПНАЭГ 7-031-91; толщиномер КРМ-Ц-Дельта №227, преобразователь СМА, разрешающая способность 0.1мм. (дополнительно в 3х местах: контроль толщины металла, измерений по историческим протоколам (дата измерения в г.г.))
- Результаты контроля:

Объект контроля:	Зона измерения: кв. час	Места контроля толщиной по участкам, мм									Соответствие НД (да, нет)		
		0	100	200	300	400	500	600	700	800		900	
За отводом: Ф 219	Ф4х5	12	31,1	31,6	26,7	24,6	29,9	28,4	26,7	24,6	29,9	26,7	Да
		03	28,4	33,8	32,6	31,1	33,8	31,8	32,9	31,1	33,8	32,6	Да
		06	31,8	24,6	27,4	28,9	22,2	31,6	27,4	28,9	22,2	27,4	Да
		09	31,6	24,6	26,7	28,5	24,0	31,8	26,7	28,5	24,0	26,7	Да
		1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900		
	Ф6х8	12	28,4	26,7	24,6	29,9	26,7	31,1	24,6	26,7	24,6	29,9	Да
		03	31,8	32,9	31,1	23,8	22,9	28,4	23,8	22,9	31,1	23,8	Да
		06	31,8	27,4	28,9	22,2	27,4	31,8	24,6	27,4	28,9	22,2	Да
		09	31,8	26,7	28,5	24,0	26,7	31,6	24,9	26,7	28,5	24,0	Да
		1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900		
За отводом: Ф 219-26	Ф4х5	12	23,8	31,6	24,6	27,4	28,9	28,4	24,6	27,4	28,9	28,4	Да
		03	22,2	33,8	24,9	26,7	32,9	29,9	24,9	26,7	28,5	30,3	Да
		06	24,9	33,8	26,7	29,4	30,6	31,1	26,7	29,4	30,6	31,1	Да
		09	24,1	31,7	26,7	28,4	29,3	30,3	26,7	28,4	29,3	30,3	Да
		1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900		
	Ф6х8	12	28,9	28,4	24,6	27,4	28,9	28,4	23,8	31,8	24,6	27,4	Да
		03	28,5	29,3	24,9	26,7	28,5	29,3	22,2	31,6	24,9	26,7	Да
		06	30,6	31,1	26,7	28,4	30,6	31,1	24,0	31,8	26,7	28,4	Да
		09	29,3	30,3	26,7	28,4	29,3	30,3	24,1	31,7	26,7	28,4	Да
		1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900		

- № рабочей программы, № карты контроля: № 12 ПЭ.ПМ.0018.57.

Контроль производил: /Мурашов/

Руководитель работ: /Д.А. Толчанов/

Протокол

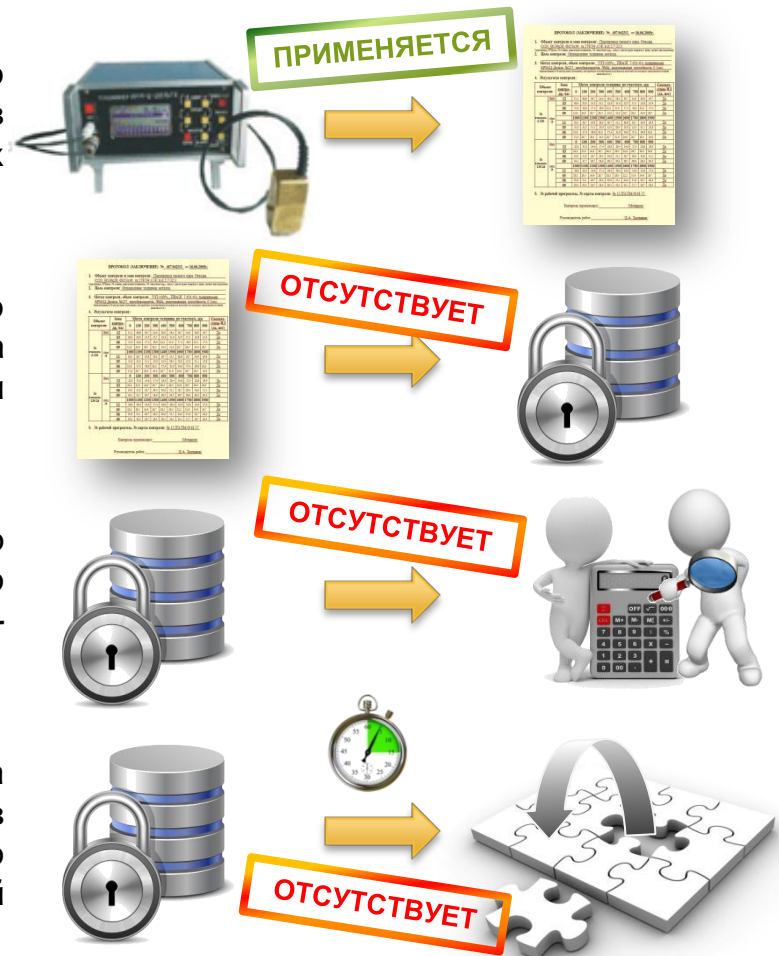
№ 497/0423/2 от 16.06.2005г.

Методика контроля, анализа и прогнозирования ЭКИ

Во избежание не только аварий, но и существенного удорожания эксплуатации оборудования необходимо концентрировать усилия персонала АЭС на наиболее проблемных (подверженных ускоренному разрушению) участках трубопроводных систем.

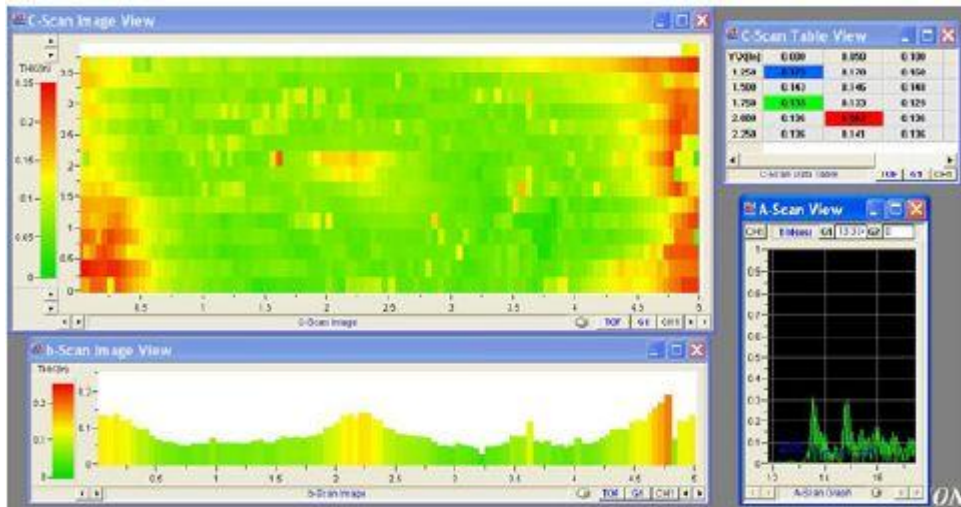
Для успешного решения этой задачи необходимо:

- Проведение процедур регулярного инструментального **контроля (мониторинга) толщин стенок** элементов трубопровода с фиксацией результатов в АКТах (протоколах).
- **Внесение в базу данных результатов** первичного контроля (толщин стенок). При этом в БД уже должна быть вся полнота актуальной справочной и эксплуатационной информации (*Сталь, Да, Сном, Р, Т*)
- Применение компьютерного анализа к тщательно собранным данным первичного контроля с целью **расчета скорости протекания эрозивно-коррозионного износа** (по элементам за период)
- Проведение на основе результатов анализа компьютерного **прогнозирования допустимых сроков эксплуатации** для всех элементов трубопровода с целью выявления наиболее опасных участков и их **плановой замены**



Зарубежные компьютерные коды для анализа ЭКИ

Имеются зарубежные образцы программных средств, регистрирующие и обрабатывающие эксплуатационные характеристики трубопроводного оборудования АЭС на всем жизненном цикле



- В 1989 г. был разработан первый коммерческий код CHEC, что предназначался для расчета скорости ЭКИ в трубопроводах с однофазной средой. При разработке кода CHEC были использованы данные лабораторных исследований, которые проводились в Англии, Франции и США с 1970 г., в Германии с 1973 г. и данные эксплуатационного контроля на АЭС.
- В 1995 г. был разработан компьютерный код CHECWORKS для расчет скорости ЭКИ и длительности эксплуатации трубопроводов. Работы уже была рассчитана под ОС Windows. Компьютерный код CHECWORKS интегрирует и включает функции кодов CHEC, CHEC-T, CHEC-NDE и CHECMATE.

Важно, что высокая стоимость иностранных кодов (систем), необходимость адаптации их к техническим условиям реакторов РБМК и ВВЭР, а также учет требований национальной безопасности делают невозможным их приобретение, внедрение и эксплуатацию на объектах атомной отрасли отечественного проекта, управляемых оператором «РОСАТОМ».

❑ Программное средство для расчета ЭКИ

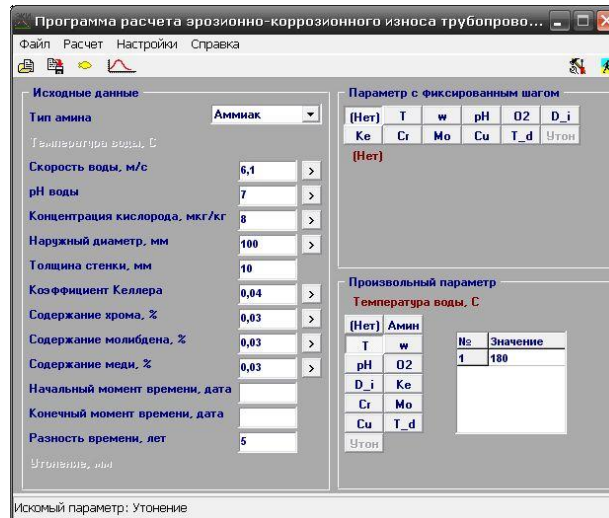
В.И. Бараненко, «ВНИИАЭС», Москва

В 2003 г. аттестовано программное средство ЭКИ-02, предназначенное для расчета скорости ЭКИ и величины утонения стенок трубопроводов с **однофазной средой** на АЭС с ВВЭР-440.

В 2005 г. аттестовано программное средство ЭКИ-03, предназначенное для расчета скорости ЭКИ и величины утонения стенок трубопроводов с **двухфазной средой** (паропроводов) на АЭС с ВВЭР-440.

Отечественные программные средства (ПС) ЭКИ-02 и ЭКИ-03 позволяют рассчитывать для элементов трубопроводов следующие величины:

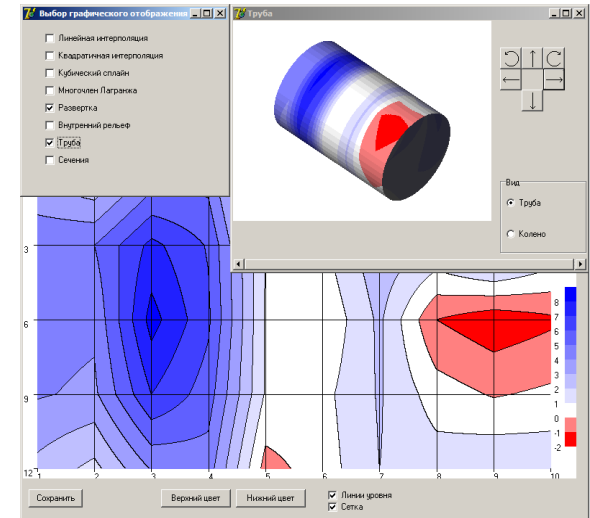
- **скорость ЭКИ** в более ранний по отношению к дате эксплуатационного контроля период эксплуатации.
- **скорость ЭКИ** в более поздний, соответствующий дате контроля период эксплуатации.
- **среднюю скорость ЭКИ** между датами более раннего и более позднего эксплуатационного контроля.
- **величину утонения стенки** элемента трубопровода в период между более ранним и более поздним эксплуатационными контролями.



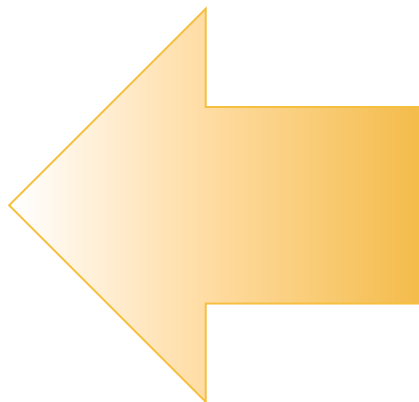
❑ Программное средство «Визуализация данных толщинометрии»

А.А. Буданов, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск

Наиболее информативным методом визуализации статистических данных является трехмерное изображение поверхности износа и его топографическая карта.

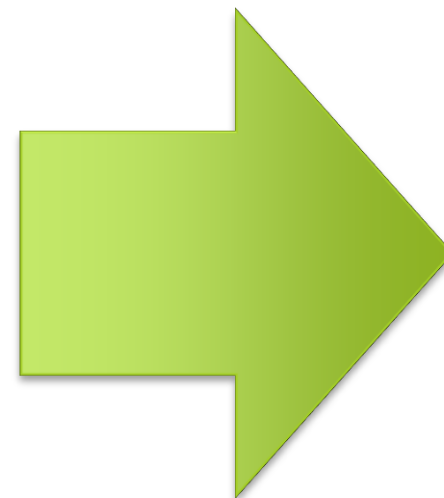


Важно, что аттестованные отечественные ПС позволяют получить **только перманентный (на экране) результат расчета скорости ЭКИ**, при этом исходные **данные** также **вводятся вручную** с бумажных и/или электронных файлов произвольных форматов.



Компоновка системы на основе интеграции существующих решений менее предпочтительна с точки зрения перспективы и круга стоящих задач

Основным направлением работы выбрана **компоновка системы как единого программного комплекса**, состоящего из **центральной БД** и специально разработанного единого **интерфейса пользователя**. Это позволит объединить в одном месте необходимые функции по учету, анализу и расчету остаточного ресурса оборудования АЭС, подверженного ЭКИ, на всем жизненном цикле его эксплуатации





Постановка задачи

Система должна объединить в рамках центральной БД и единого интерфейса следующую информацию:

Справочная информация

Руководящие документы (РД), стандарты и ГОСТы на все виды элементов оборудования.

Типы станций, реакторов, узлов, трубопроводов, систем, а также методики контроля, схемы измерений, виды приборов.

Нормативы расчетов утонения металла для разных сред с учетом параметров эксплуатации, материала и геометрии элементов (электронный аналог РД).

Входная информация

Результаты замеров химического состава металла элементов и теплоносителя в контуре.

Результаты замеров износа трубопроводов по видам элементов в часах и сечениях.

Выходная информация

Скорости ЭКИ (мм/год) по данным замеров износа (толщин стенок), а также на основе типоразмерных и эксплуатационных характеристик (ЭКИо₂, ЭКИо₃) для каждого элемента оборудования.

Прогнозы остаточного ресурса (лет) для элементов трубопровода для безаварийной эксплуатации (толщина стенок).



Техническое задание

является основным документом, описывающим требования к АС и основные пути их реализации. Документ разработан согласно ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы» и содержит в себе следующие требования к АС:

1. Общие сведения
2. Цели на назначение системы
3. Характеристика объекта автоматизации
4. Требования к системе
 - 4.1. Требования к системе в целом
 - 4.1.1 Требования к системе как коммерческому продукту
 - 4.1.2. Требования к структуре и функционированию системы
 - 4.1.3. Требования к численности и квалификации персонала системы и режиму работы
 - 4.1.4. Требования к эргономике и технической эстетике
 - 4.1.5. Требования к защите и сохранности информации
 - 4.2. Требования к функциям (постановка задачи)
 - 4.2.1. Сфера охвата информации
 - 4.2.2. Разделы и модули
 - 4.3. Требования к видам обеспечения
 - 4.3.1. Требования к информационному обеспечению
 - 4.3.2. Требования к лингвистическому обеспечению
 - 4.3.3. Требования к программному обеспечению
 - 4.3.4. Требования к техническому обеспечению
5. Состав и содержание работ по созданию системы
6. Требования к составу и содержанию работ по введению системы в действие



Этапы реализации системы

Применение методов «гибкой разработки» и ускоренный вынос промежуточных результатов работ для вовлечения большего числа исследователей

Согласно ТЗ

По результатам прототипирования

Единый интерфейс

Модуль НСИ

Модули занесения, просмотра и поиска входной информации

Адм. Модуль

Модули расчётов и получения выходной информации

Модули представления входной и выходной информации

Провайдер OLEDB для Oracle



Единый интерфейс

Модуль НСИ

Модули ведения данных об узлах, трубопроводах и протоколах

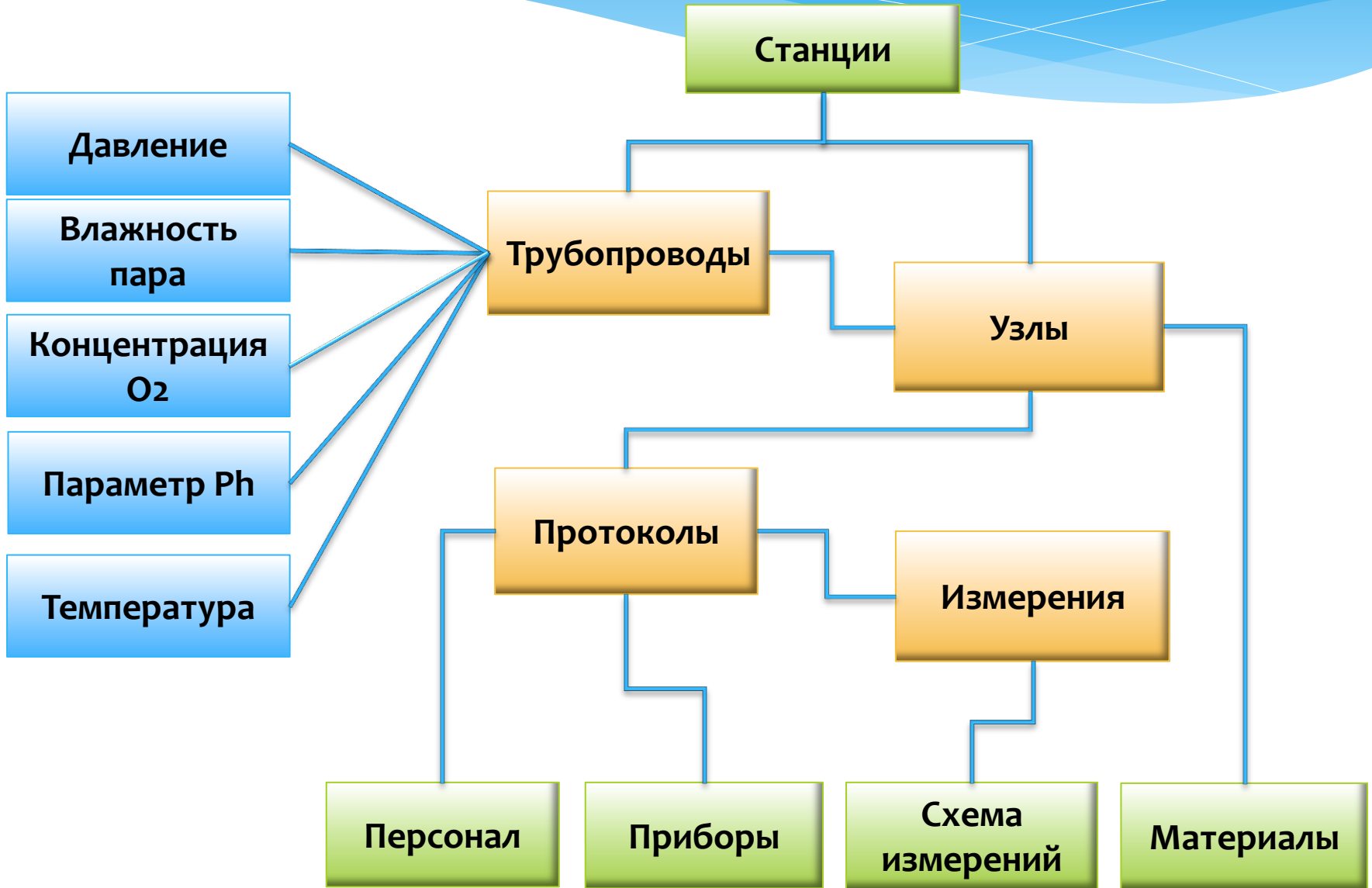
Модули расчетов норм толщин, расчета скорости ЭКИ и определения остаточного ресурса оборудования

Модули формирования печатного протокола и представления иной инф.

Драйвер ODBC для MS Access

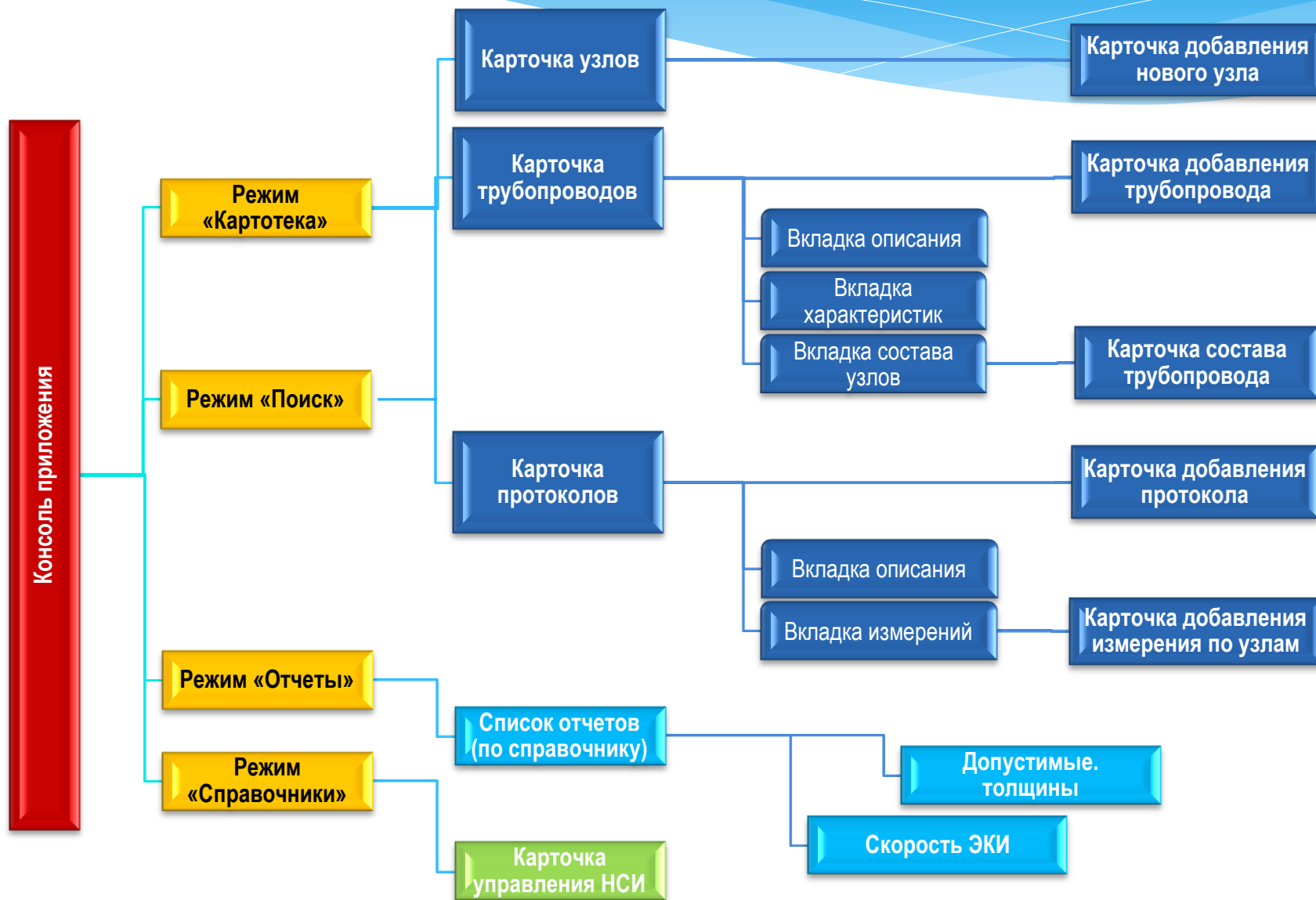


Общая архитектура БД





Архитектура интерфейса системы





Работа интерфейса системы Организация главной консоли приложения

Меню-заголовок

Меню-панель

АС ППР ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКИ - ППР ПРО ЭКИ : Администраторов Админ

Связь Картотека Операции Справка Закрыть

Возврат Далее Просмотр Изменение Печать Добавить Удалить Обновить

Кольская АЭС

Узлы, ЭЛЕМЕНТЫ

Код	Тип	Части_трубопровод	Материал	Дата_ввода	Диаметр	Толщина	Станция
328Г-328Б	Гиб	Трубопровод основного	Сталь 10 (Медь:42 Хром:48)	25.05.2012	273	10	Кольская АЭС
328Д-328В	Гиб	Трубопровод основного	Сталь 12 (Медь:5 Хром:4 Молибден:3)	25.05.2012	273	9	Кольская АЭС
306-306А	Прямой участок за гибом	Трубопровод основного	Сталь 15 (Медь:37 Хром:40)	25.05.2012	273	9	Кольская АЭС
343-344	Прямой участок за гибом	Трубопровод основного	Сталь 20 (Медь:3 Хром:5 Молибден:4)	25.05.2012	273	10	Кольская АЭС
486-53Д-47							
334Б-328-40							
486-47							
334Б-40							
66А-66							
66А-67А							
72-71							
321-73							
9-291-10							
65-65А-65В							
65В-66А							
234-235							
55-54							
54-55	Прямой участок за гибом	Трубопровод острого пара ТЦ	Сталь 20 (Медь:3 Хром:5 Молибден:4)	01.11.1980	465	16	Кольская АЭС
54-54Б	Прямой участок за гибом	Трубопровод острого пара ТЦ	Сталь 20 (Медь:3 Хром:5 Молибден:4)	01.11.1980	465	16	Кольская АЭС

Картотека Отчеты Поиск Справочники

04.06.2012 0:00 База - ЕК Всего записей: 35 START: 0:00:15 STOP: 0:00:15 Версия в БД: Версия ПО: 0.0.15

Интерфейс окна «Консоль приложения» построен по иерархическому принципу доступа к информации с разным уровнем детализации и возможностями управления данными на разных уровнях.

Первый уровень – располагается в элементе «Список-дерево», где информация разгруппирована по категориям и подкатегориям.

Второй уровень – располагается в элементе «Общий список», в котором производится селективное и более детальное отображение информации выбранной в категории или подкатегории на первом уровне.

Третий уровень – располагается в непосредственных карточках соответствующего вида информации и отображает только ту единственную единицу данных, которая выбрана на первом или втором уровне. Именно на этом уровне возможно изменение соответствующей информации.

Список-дерево

Режимы

Общий список



Работа интерфейса системы

Ввод и управление нормативно-справочной информацией

АС ППР ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКИ - ППР ПРО ЭКИ : Администраторов Админ

Связь Картотека Операции Справка Закрыть

← Возврат → Далее 🔍 Просмотр 📖 Изменение 🖨 Печать ➕ Добавить ✖ Удалить ↻ Обновить

Кольская АЭС

СПРАВОЧНИКИ

- Должности
- Материалы
- Методы контроля
- Персонал
- Приборы
- Системы
- Схемы измерений
- Типы приборов
- Типы трубопроводов
- Типы узлов

СПРАВОЧНИКИ\ТИПЫ ТРУБОПРОВОДОВ

ID_NAME	P_NAME
1	Трубопровод общего назначения (без названия)
2	Трубопровод основного конденсата ТГ-4
3	Паропровод промперегрева 1 степени СПП ТГ-3
4	Паропровод промперегрева 1 ступени СПП ТГ-4
5	Паропровод промперегрева 2 степени СПП ТГ-3
6	Паропровод промперегрева 2 степени СПП ТГ-4
7	Трубопровод греющего пара 1 и 2 степени СПП и дренажа ПВД в дезаэратор Д-4

Управление справочником - Типы трубопроводов

Выберите нужную строку и внесите изменения

➕ Добавить запись ➖ Удалить запись

P_NAME
Трубопровод общего назначения (без названия)
Трубопровод основного конденсата ТГ-4
Паропровод промперегрева 1 степени СПП ТГ-3
Паропровод промперегрева 1 ступени СПП ТГ-4
Паропровод промперегрева 2 степени СПП ТГ-3
Паропровод промперегрева 2 степени СПП ТГ-4
Трубопровод греющего пара 1 и 2 степени СПП и дренажа ПВД в дезаэратор Д-4
Трубопровод подачи пара на уплотнения ТА-4
Дренажный трубопровод ПВД ТГ-4
Дренажный трубопровод из 2 степени СПП ТГ-4
Трубопровод питательной воды всаса ПЭН, АПЭН
Трубопровод аварийной питательной воды к 2ПГ 1-6
Трубопровод всаса ЛЭН, АПЭН
Трубопровод питательной воды ПВД ТГ-3
Трубопровод отбора пара 1, 2, 3 ступеней к ПВД ТГ-3
Трубопровод отбора пара 1, 2, 3 ступеней к ПВД ТГ-4
Трубопровод 2-го и 3-го отборов пара на дезаэратор ТГ-3 и коллектор 7-ата
Трубопровод 2-го и 3-го отборов пара на дезаэратор ТГ-4 и коллектор 7-ата

Сохранить Отмена Закрыть

Вкладка «Справочники» отображает список созданных в системе справочников. Данная экранная форма предназначена для добавления, редактирования, удаления и просмотра данных, хранящихся в справочниках (аппаратура, тип узла, материал, метод контроля и т.д.). Редактирование осуществляется вызовом окна «Управление справочником»



Работа интерфейса системы

Поиск всей ранее внесенной в систему информации

АС ППР ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКИ - ППР ПРО ЭКИ : Администраторов Админ

Связь Картотека Операции Справка Закрыть

← Возврат → Далее 🔍 Просмотр 📖 Изменение 🖨 Печать ➡ Добавить ✖ Удалить ↻ Обновить

Кольская АЭС

Поиск: ТПВ

Поиск: 🔍

По узлам
 По трубопроводам
 По протоколам

ПОИСК ТРУБОПРОВОДЫ ТРУБОПРОВОД ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА ТГ-4 БЛОК - 2

Трубопровод	Система	Блок	Конгур	Температура	Влажность пара	Праметр РН	Концентрация O2	Д
▶ Трубопровод основного	ТПВ ТЦ	2	2	3,25	87,3	6,78	3,25	2
Паропровод промперегрева 1	ТПВ АПЭН	0	0	0	0	0	0	0
Паропровод промперегрева 1	ТПВ РЦ	3	2	0	0	0	0	0

Картотека Отчеты Поиск Справочники

04.06.2012 0:05 База - ЕКИ Всего записей: 3 START: 0:05:01 STOP: 0:05:01 Версия в БД: Версия ПО: 0.0.15

Режим «Поиск» предоставляет возможность произвести широкий поиск информации. Если параметр поиска указан, то программа найдет только ту информацию, где встречается сочетание заданного текста, если же параметр не указан, то программ отобразит всю информацию выбранной категории, без каких либо ограничений.

Категории поиска соответствуют видам сопровождаемой информации (таблицам):

- По узлам;
- По трубопроводам;
- По протоколам.



Работа интерфейса системы

Последовательность ввода входной информации

Карточка узлов

Узлы станции: 328Д-328В - Гиб

Сортировка по коду / Сортировка по типу

Код узла: 328Д-328В

Тип: Гиб

Станция: Кольская АЭС

Трубопровод: Трубопровод основного конденсата ТГ-3 Блок - 2

Материал: Сталь 12 (Медь-5 Хром-4 Молибден-3)

Диаметр: 273 мм

Толщина: 9 мм

Дата ввода в эксплуатацию: 25.05.2012

Сохранить

1 Ввод номенклатуры элементов (узлов) трубопровода и их типоразмерных характеристик

2 Ввод перечня трубопроводов с формированием их состава из элементов, ранее внесённых в БД, а также указание общих физико-химических характеристик

Карточка трубопроводов

Трубопровод: Трубопровод основного конденсата ТГ-4 Блок - 2

Сортировка по трубопроводу / Сорти...

Описание | Характеристики | Составные узлы

Перечень узлов составляющих трубопровод

Тип узла	Код узла	Дата ввода
Гиб	66-67А	25.05.2012
Гиб	66А-66	25.05.2012
Прямой участок за гибом	321-73	25.05.2012
Прямой участок за гибом	72-71	25.05.2012
Прямой участок за тройником	234-235	25.05.2012
Прямой участок за тройником	65В-66А	25.05.2012
Тройник	65-65А-65В	25.05.2012
Тройник	9-291-10	25.05.2012

3 Ввод с протоколов замеров данных толщин стенок элементов трубопровода по «часам» и «сечениям»

Карточка протоколов

Протоколы: 497/0423/2 - 16.06.2005

Сортировка по номеру / Сортировка по дате

Описание: Измерения

Перечень измерений по узлам

Код узла	Схема измерений	Сечений	Точек/Часов
6-239	4 оси, шаг 100 мм, 2 м	20	4
239-26	4 оси, шаг 100 мм, 2 м	20	4
26-8	4 оси, шаг 100 мм, 2 м	20	4
8-240	4 оси, шаг 100 мм, 2 м	20	4
240/1 31	4 оси, шаг 100 мм, 2 м	20	4
7-377	4 оси, шаг 100 мм, 2 м	20	4

Данные измерения

Сечение	Ось (точка/час)	Smin (mm)	Smax (mm)
0	12	31,1	
0	3	28,4	
0	6	31,8	
0	9	31,6	
100	12	21,6	
100	3	23,8	

Сохранить / Закрыть



Работа интерфейса системы Формирование электронного протокола Фрагмент протокола Калининской АЭС 497/0423/2

Фрагмент протокола Калининской АЭС

ПРОТОКОЛ (ЗАКЛЮЧЕНИЕ) № 497/0423/2 от 16.06.2005г.

1. Объект контроля и зона контроля: Паропровод свежего пара. Отвод Ст20; Ø530x28; Ø325x19; сх.278739 л.58; п.п.2.7.32.1.
(материал, D*Шаг, № стаяка, завод-изготовитель, № чертежа (сх., лист), категория сварного шва, пункт)
2. Цель контроля: Определение толщины металла.
3. Метод контроля, объем контроля: УЗТ-100%; ПНАЭГ 7-031-КРМ-Ц-Дельта №227, преобразователь ЭМА; разрешающая способность
(наименование и № инструкции (методика), тип прибора, чувствительность контроля, документ по которому про-
4. Результаты контроля:

Объект контроля:	Зона контро-ля, час	Места контроля толщины по участкам								
		0	100	200	300	400	500	600	700	800
За отводом. 6-239	ØxS	12	31,1	21,6	26,7	24,6	29,9	28,4	26,7	24,6
	03	28,4	23,8	32,0	31,1	23,8	31,8	32,0	31,1	
	06	31,8	24,6	27,4	28,9	22,2	31,6	27,4	28,9	
	09	31,6	24,9	26,7	28,5	24,0	31,8	26,7	28,5	
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700		
	12	28,4	26,7	24,6	29,9	26,7	31,1	21,6	26,7	
	03	31,8	32,0	31,1	23,8	32,0	28,4	23,8	32,0	
	06	31,6	27,4	28,9	22,2	27,4	31,8	24,6	27,4	
	09	31,8	26,7	28,5	24,0	26,7	31,6	24,9	26,7	



Калининская АЭС

Дата: 23.12.2012
Время: 1:49:42

ПРОТОКОЛ №497/0423/2 от 16.06.2005

Станция: Калининская АЭС
Номер: 497/0423/2
Дата: 16.06.2005
Метод контроля: УЗТ 100%
Инструмент: Толщиномер - КРМ-Ц-Дельта №227
Шаг (мм): 100
Исполнитель: Мурашов
Руководитель: Толчанов Д.А.

Трубопровод Тип узла Код узла Типоразмер Схема измерений
 Паропровод свежего пара Участок за отводом 6-239 530x28 4 оси, шаг 100 мм, 2 м

Места контроля по сечениям (мм)	S (мм) в 12 часах	S (мм) в 3 часах	S (мм) в 6 часах	S (мм) в 9 часах
0	31,1	28,4	31,8	31,6
100	21,6	23,8	24,6	24,9
200	27,6	32	27,4	26,7
300	24,6	31,1	28,9	25,8
400	29,9	23,8	22,2	24
500	28,4	31,8	31,6	31,8
600	26,7	32	27,4	26,7
700	24,6	31,1	28,9	28,5
800	29,9	23,8	22,2	24

Программный модуль формирования электронного протокола представлен в виде WORD документа, отображающего ровно те же данные, что и оригинальный протокол №497/0423/2 от 16.06.2005г.



Работа интерфейса системы

Методика расчета норм допускаемых толщин и скорости ЭКИ

Определение остаточного ресурса элементов трубопровода



Расчет допускаемых толщин стенок $S_{доп}$ (мм)

Производится в системе с помощью электронного модуля «Нормы допускаемых толщин» по формулам, утвержденным руководящим документом (РД ЭО 1.1.2.11.0571-2010)



Расчет скорости ЭКИ $W_{ЭКИ}$ (мм/год)

$$W_{ЭКИ} = \frac{S_{НОМ} - S_{МИН}}{\Delta \tau}$$



Оценка остаточного ресурса $T_{ост}$ (лет)

$$\tau_{ост} = \frac{S_{мин} - S_{доп}}{W_{ЭКИ}}$$



Работа интерфейса системы Расчёт допустимых толщин трубопроводов Формирование отчета в Консоли приложения

K_CODE	Omega	Sras	Sdop	SL1	SL2	SL3	SL4	SL5
13-379	124,33	12,3	14,2	13,6	14,1	14,2	14,2	14,2
148-91	124,33	7,5	9,7	9,3	9,6	9,7	9,7	9,7
239-26	124,33	12,3	14,2	13,6	14,1	14,2	14,2	14,2
240/1 31	124,33	12,3	14,2	13,6	14,1	14,2	14,2	14,2
26-8	124,33	12,3	14,2	13,6	14,1	14,2	14,2	14,2
6-239	124,33	12,3	14,2	13,6	14,1	14,2	14,2	14,2

Производится расчет допустимой и расчетной толщины стенки по характеристикам трубопроводов (марка стали, температура, давление, диаметр, номинальная толщина), заполненным в процессе ввода нормативно-справочных и эксплуатационных данных для каждого элемента трубопровода энергоблока АЭС

Расчет базируется на алгоритмической базе документа эксплуатирующей организации **РД ЭО 1.1.2.11.0571-2010 – «Нормы допустимых толщин стенок элементов трубопроводов из углеродистых сталей при ЭКИ»** и является, таким образом, его электронным аналогом, что позволяет производить расчеты допустимой толщины стенки более точно, не используя готовые предрассчитанные таблицы «бумажного» РД.



Работа интерфейса системы

Расчёт скорости ЭКИ и определение остаточного ресурса

Формирование отчета в Консоли приложения

K_CODE	PROT_NUM	Snom	Sdop	Smin	Texpl	deltaS	iznosS	Sost	W	Tost
239-26	497/0423/2	28	14,2	22,2	27	5,8	0,2071	79,2857	0,2148	37,2414
26-8	497/0423/2	28	14,2	21,6	27	6,4	0,2286	77,1429	0,237	31,2188
6-239	497/0423/2	28	14,2	21,6	27	6,4	0,2286	77,1429	0,237	31,2188

Осуществляет расчёт скорости ЭКИ ($W_{эки}$, мм/год) на основе данных контрольных замеров толщин стенок (толщинометрии) из занесенных в БД протоколов, а для **определения остаточного ресурса ($T_{ост}$, лет)** помимо данных контроля, берутся еще и ранее рассчитанные данные о допустимой толщине стенки по каждому элементу.

Заключение

В докладе представлена **система поддержки принятия решений**, которая призвана предоставить ответственному персоналу АЭС **современный программный инструмент** для организации процесса ведения комплексного учета и анализа требуемого объема информации **об эксплуатации оборудования АЭС на всем жизненном цикле** в режиме «**одного окна**»

В итоге получены основные результаты:

Проведен анализ предметной области – методики первичного контроля ресурса оборудования (толщинометрии), подверженного процессам ЭКИ

Собрана необходимая нормативная база, изучены первичные документы (протоколы замеров) и отчеты с Кольской и Калининской АЭС, проклассифицирована подлежащая обработке информация

Учтены требования к базе данных из последней редакции РД, произведен выбор пути создания комплексной АС, как генерального направления

Разработан проект ТЗ на автоматизированную систему, где описаны необходимые требования к видам охватываемой информации, схемам ее размещения в БД и движению по структуре интерфейса

Разработана и реализована в СУБД MS Access концептуальная схема БД в целях первоначального наполнения и тестирования

Продумана максимально универсальная структурная схема интерфейса с учетом долгосрочного развития и наполнения возможностями системы в будущем при минимальных затратах на доработку

Осуществлено непосредственное кодирование основных форм ввода/вывода интерфейса системы, а также размещен в БД широкий спектр сохраненных запросов, состоящих из набора SQL операторов

С помощью полученного интерфейса пользователя занесен набор реальных справочных, типоразмерных, физико-химических и эксплуатационных данных (протоколы замеров) об элементах трубопроводов с действующих АЭС

Реализована методика программного определения норм допустимых толщин (электронный аналог РД для прямого участка)

Изучены и программно реализованы модели расчетов скорости ЭКИ и определения остаточного ресурса

Предусмотрена возможность вывода всех полученных на экране данных в файлы требуемых форматов (текст, Word, Excel), с последующей распечаткой (электронные протоколы, отчеты, списки поиска и т.д.)

Благодарю за внимание!

Важно отметить, что на сегодня получен первый прототип системы, где создана локальная база данных и работающий макет интерфейса.

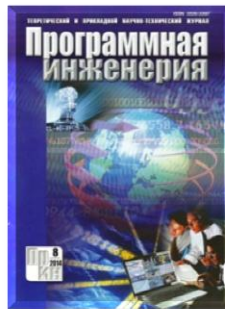
Однако для продолжения разработки, верификации, сертификации и вывода решения на уровень промышленного образца необходимо финансовое, административное и техническое участие высокотехнологичной софтверной компании.



Сведения об авторе:

**Федотов
Василий
Александрович**

work@studioalex.ru



Публикации по теме:

**Разработка системы поддержки
принятия решений по
прогнозированию ресурса
оборудования АЭС в условиях
эрозионно-коррозионного износа**

Федотов В.А., Гулина О.М.

«Программная инженерия», №8, 2014, Москва

<http://studioalex.ru/alex/pi8-2014.pdf>