



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ОКБ «ГИДРОПРЕСС» ПО ОБОСНОВАНИЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЕРИОДА МЕЖДУ КОНТРОЛЕМ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ПЕРВОГО КОНТУРА РУ С ВВЭР

*О.В. Голубева, И.Ф. Акбашев, П.А. Акимов,
В.Я. Беркович, А.А. Емелин, М.Н. Киселев,
Л.А. Лякишев, В.В. Матковский, В.А. Пиминов,
Л.М. Соков, А.А. Шубин, С.П. Юременко*

 ОКБ «ГИДРОПРЕСС»



атомэнергомаш
ГРУППА КОМПАНИЙ РОСАТОМА

В настоящее время в программах контроля состояния металла оборудования и трубопроводов первого контура РУ определен базовый период контроля металла (КМ) один раз в четыре года (с учетом требований ПНАЭ Г-7-008-89).

В то же время крайне актуальной задачей является переход на более длительные периоды контроля металла (КМ). Для решения поставленной задачи потребовалась разработка новых методических подходов.

Цель доклада – представление расчетно-аналитического подхода, разработанного ОКБ «ГИДРОПРЕСС» для обоснования допустимости увеличения периодов между КМ оборудования и трубопроводов первого контура РУ с ВВЭР, и результатов его практического применения.

Основные положения методического подхода

- периодический эксплуатационный КМ решает две задачи:

I – оценить состояние элемента с точки зрения наличия в нём эксплуатационной деградации;

II – при наличии деградации обеспечить своевременное выявление опасных дефектов, являющихся следствием влияния эксплуатационных воздействий,

- увеличение периода КМ не должно приводить к снижению безопасности эксплуатации АЭС,

- основной фактор, который определяет период КМ элемента оборудования или трубопровода РУ – наличие эксплуатационной деградации в этом элементе.

Элементы оборудования и трубопроводов РУ

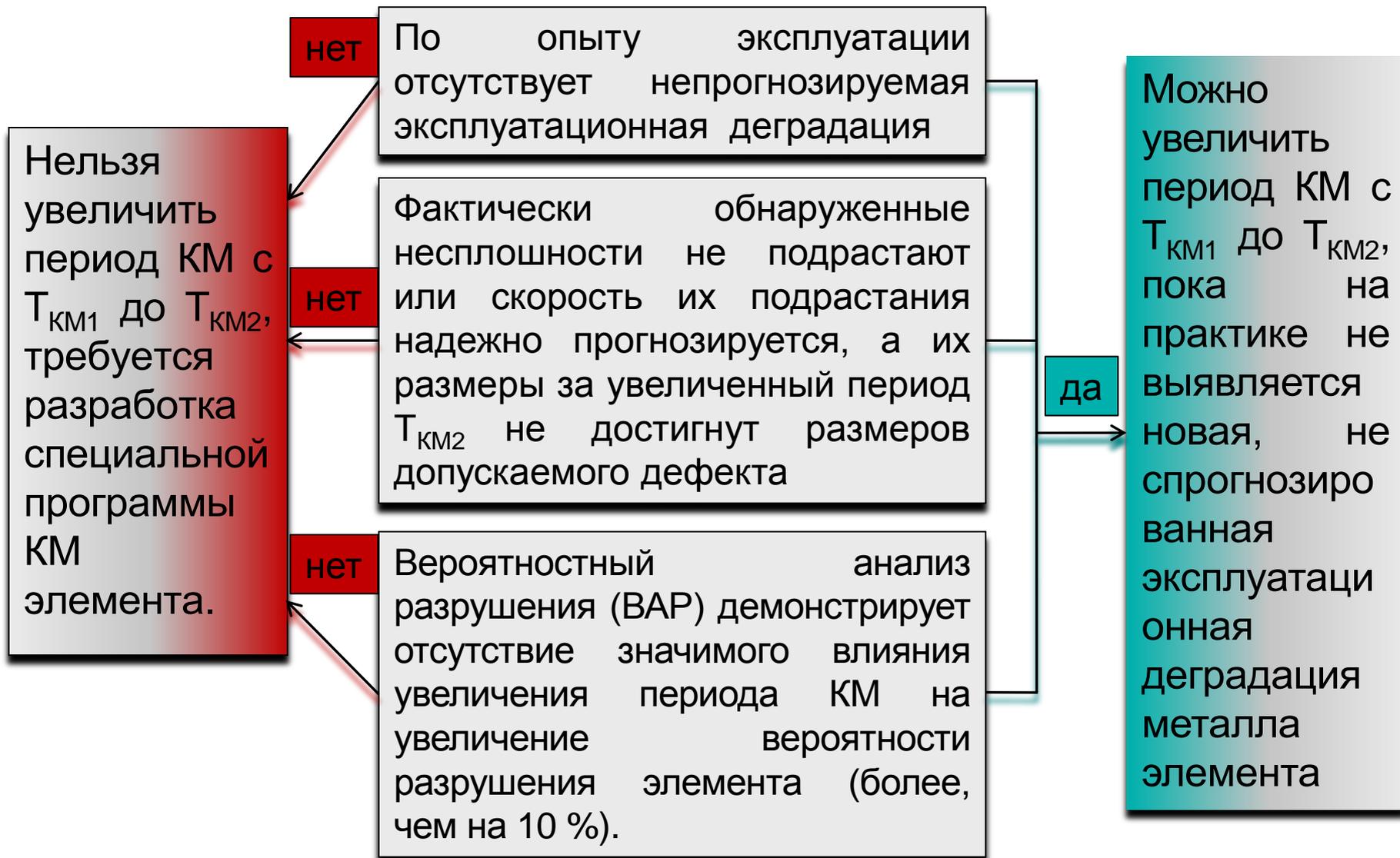
«тип 1»

элементы, в которых по опыту не наблюдалась и не наблюдается эксплуатационная деградация

«тип 2»

элементы, в которых по опыту наблюдалась эксплуатационная деградация, и, в первую очередь, систематическая деградация

Систематическая деградация - неоднократно наблюдаемые более чем на одном блоке АЭС эксплуатационные повреждения одного и того же типа.



Алгоритм обоснования возможности увеличения периодов между КМ включает следующие этапы:

этап 1: анализ опыта эксплуатации и определение элементов оборудования и трубопроводов РУ, подверженных эксплуатационной деградации (классификация по типам 1 и 2),

этап 2: проведение расчетов для наиболее ответственных элементов, относящихся к типу 1, для которых циклический рост расчетных дефектов описывается уравнением Пэриса:

- расчет размеров критического дефекта, потенциально опасного дефекта и допускаемого дефекта;
- проведение ВАР с целью определения изменения вероятности разрушения при переходе с одного периода КМ на другой,

этап 3: заключение о возможности увеличения периода КМ.

Анализ опыта эксплуатации энергоблоков с ВВЭР-1000 (за исключением ГЦНА, увеличение периода КМ которого выполнялось изготовителем оборудования ОАО ЦКБМ) показал:

- к элементам оборудования и трубопроводов первого контура, в которых наблюдается непрогнозируемая эксплуатационная деградация, относится зона сварного соединения №111 ПГ – КМ для неё должен определяться в рамках специальных программ;
- вопросы эксплуатационного КМ теплообменных труб ПГ являются специфическими. Периодичность, объемы и приемочные критерии КМ должны определяться для каждого ПГ индивидуально с учетом его фактического состояния;
- имели место отдельные случаи растрескивания переходных наплавов на композитных сварных соединениях трубопроводов, выполненных с использованием электрода ЭА-395/9 (в современных проектах подобные композитные соединения, по возможности, исключены за счет применения других материалов);

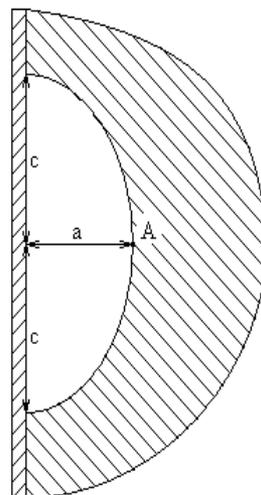
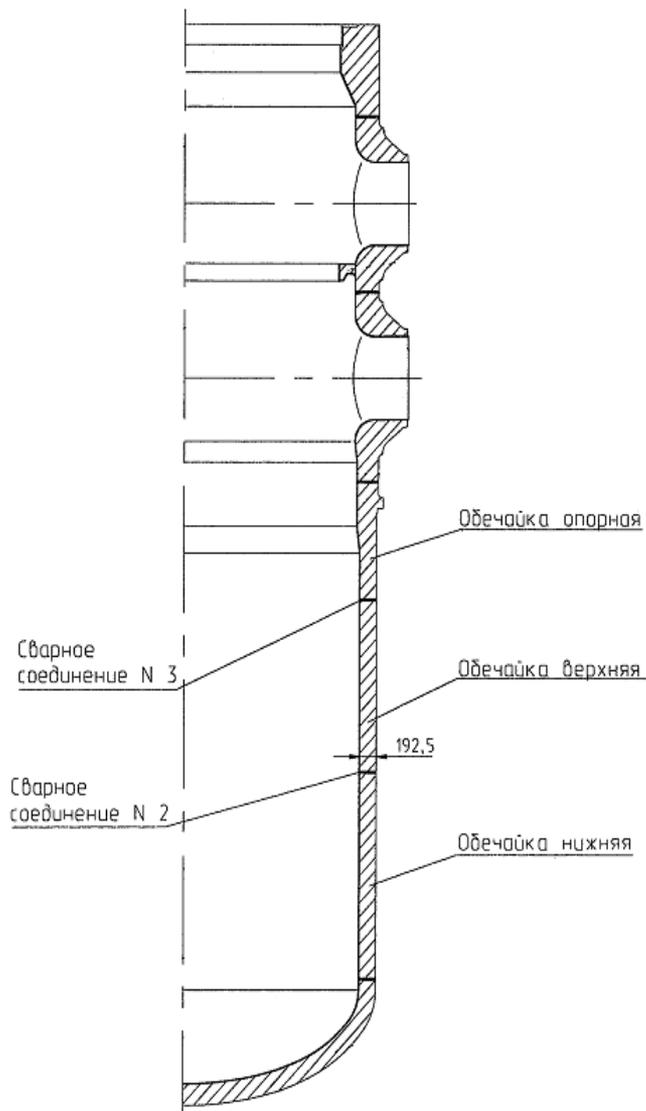
- периодически наблюдаются повреждения сварных соединений приварки защитных рубашек патрубков крышки реактора (патрубки СУЗ, внутриреакторного контроля и воздушника), выполненных с конструктивным непроваром, и приводящих к разгерметизации рубашек (компенсируется при помощи отработанной технологии ремонта);
- регулярно отмечаются механические повреждения на уплотнительных поверхностях емкостей (корпуса реактора, ПГ, КД и т.д.), которые устраняются при помощи отработанной технологии ремонта. Здесь КМ нацелен на гарантированное обеспечение возможности надежного уплотнения узлов после разуплотнения, при этом опыт эксплуатации РУ с ВВЭР в увеличенных топливных кампаниях показал, что:
 - увеличение межремонтного периода не привело к увеличению среднегодового числа выявленных дефектов элементов РУ, характерного для предыдущих лет эксплуатации в «обычных» (продолжительностью не более 12 месяцев) топливных кампаниях;
 - увеличение продолжительности топливных кампаний не привело к снижению надёжности реакторов, ПГ, КД и т.д., оцениваемой по критерию «потеря плотности».

В общем случае, для рассматриваемого элемента, относящегося к типу 1, определяются размеры критического дефекта, потенциально опасного и допускаемого дефектов для различных вариантов периода КМ.

Критический дефект – это наименьший по размерам дефект, который может привести к нестабильному разрушению элемента при наихудшем режиме эксплуатации, предусмотренном проектом, включая нарушения нормальных условий эксплуатации, проектные аварии и внешние воздействия.

Потенциально опасный дефект – это дефект, который за заданный период времени (здесь период КМ) эксплуатации может постепенно вырасти до размеров критического дефекта.

Допускаемый дефект – это дефект, размер которого определяется с учетом запасов, регламентированным в НТД.



Расчеты размеров критического, потенциально опасного и допускаемого дефектов для корпуса реактора выполнялись по следующей схеме:

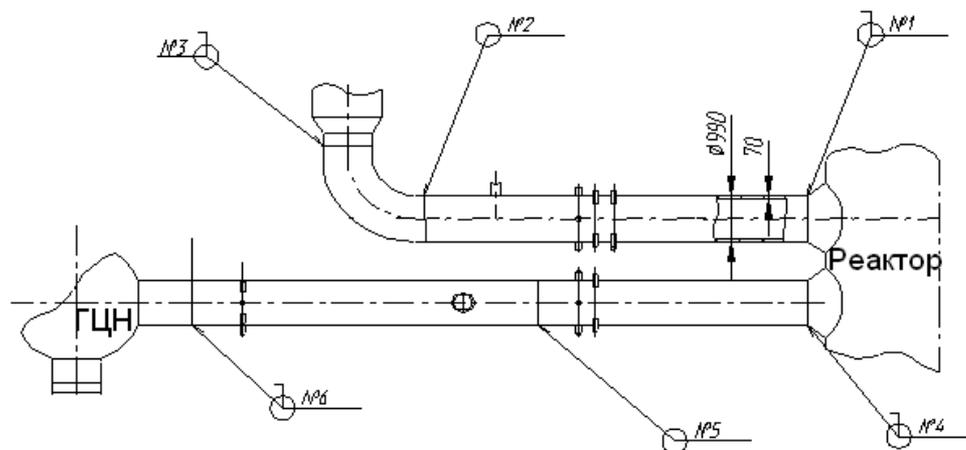
- постулировалась трещина как поднаплавочная полуэллиптическая;
- проводился расчет температурных полей и напряженно-деформированного состояния для спектра эксплуатационных режимов;

- проводился расчет КИН для постулированной трещины для различных значений размера a и соотношений a/c ;
- определялись размеры критического дефекта. Расчет проводится для т.А с применением критерия $K_I \leq K_{IC}$;
- определялись размеры потенциально опасного дефекта для заданного периода КМ как размер критического дефекта, уменьшенный на величину циклического подроста за период КМ;
- размеры допускаемого дефекта определялись по той же схеме, что и размеры потенциально опасного дефекта, но с наложением запасов на кривую вязкости разрушения, т.е. с использованием условия прочности $K_I \leq [K_I]$.

Минимальные значения размера a допускаемого дефекта были получены для сварного соединения №2 корпуса реактора:

- для случая дефекта бесконечной длины и составили:
 - для периода КМ 4 года - 4,4 мм;
 - для периода КМ 6 лет - 4,4 мм;
 - для крайнего случая периода КМ, равного 40 лет - 4,1 мм,
- для случая дефекта с соотношением полуосей $a/c=2/3$:
 - для периода КМ 4 года - 6,0 мм;
 - для периода КМ 6 лет - 5,9 мм;
 - для крайнего случая периода КМ, равного 40 лет - 5,6 мм.

ВАР элементов КР показал, что вероятность разрушения сварного соединения №2 и основного металла опорной обечайки, за 40 лет эксплуатации при шестилетнем периоде КМ практически не превышает вероятности разрушения при четырехлетнем (увеличение порядка 1-2 %).



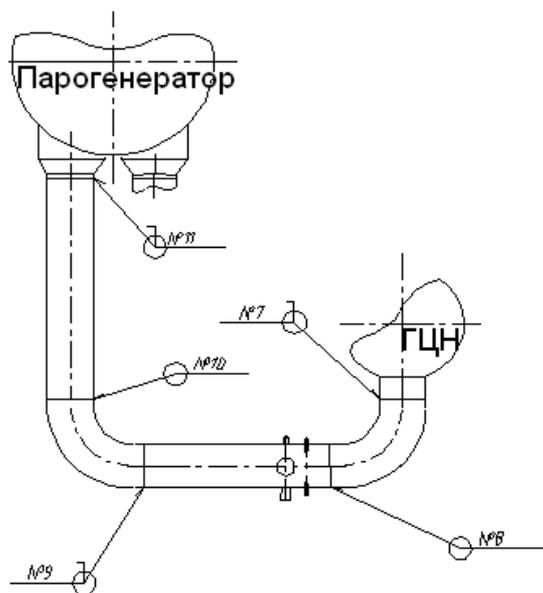
Определение размеров критического и допустимого дефектов ГЦТ выполнялось по следующей схеме (с учетом распространения на трубопровод концепции ТПР):

- определялись критические длины сквозных (кольцевых) трещин;

- консервативно постулировались размеры не сквозных трещин:

- в качестве критического дефекта начальный поверхностный дефект с глубиной 0,5 от толщины стенки с соотношением глубины к длине 1:5;

- в качестве допустимого - начальный поверхностный дефект с глубиной 0,2 от толщины стенки и с соотношением длины к глубине 1:5,



- для допускаемого дефекта проводился анализ циклического подраста для различных периодов КМ, сравнивались размеры «подросшего» допускаемого дефекта с размерами критического;
- отдельно анализировались сварные швы приварки ГЦТ-к-ГЦН, выполненные электродом ЦЛ-51, с точки зрения хрупкого разрушения (в связи с зафиксированными несоответствиями при изготовлении). Расчет размеров допускаемого дефекта проводился по аналогии с тем, как определялись размеры допускаемого дефекта для элементов корпуса реактора.

Для кольцевых сварных соединений ГЦТ Ду850 :

- определены критические размеры трещиноподобных сквозных дефектов для металла сварных швов ГЦТ (ПТ-30): минимальное значение 741,9 мм (шов приварки ГЦТ к «горячему» патрубку реактора);

- определены размеры допускаемого дефекта для металла сварных швов ГЦТ (ПТ-30): поверхностный полуэллиптический трещиноподобный дефект с глубиной $a=10$ мм и длиной $2c=50$ мм;
- показано, что циклический подрост допускаемого дефекта за срок 4 и 6 лет менее чем 0,1 мм, за срок 40 лет не превышает величины 1 мм;
- для сварного соединения ГЦТ-к-ГЦН, потенциально подверженного хрупкому разрушению, показано, что постулируемый в рамках ТПР допускаемый дефект является стабильным с точки зрения хрупкой прочности;
- сравнительный анализ изменения вероятности разрушения показал, что вероятность разрушения сварного шва ГЦТ-к-ГЦН за 40 лет эксплуатации при шестилетнем периоде между КМ практически не превышает вероятности разрушения при четырехлетнем (изменение порядка 1-2 %).

Обобщение результатов расчетно-аналитической работы :

- выделены элементы оборудования и трубопроводов первого контура РУ с ВВЭР-1000, в которых наблюдается непрогнозируемая эксплуатационная деградация или периодически наблюдаются повреждения металла;
- для элементов, не подверженных эксплуатационной деградации, были проведены расчеты:
 - определены размеры критического, потенциально опасного и допускаемого трещинообразного дефекта;
 - показано, что изменение периода контроля металла с 4 до 6 лет мало влияет на размеры допускаемого дефекта;
 - сравнительный анализ изменения вероятности разрушения показал, что вероятность разрушения при шестилетнем периоде КМ практически не превышает вероятности разрушения при четырехлетнем (увеличение вероятности порядка 1-2 %).

Выработаны следующие рекомендации о возможности увеличения периода КМ с 4 до 6 лет оборудования и трубопроводов первого контура энергоблоков 1, 2 ТАЭС (ВВЭР-1000):

- для элементов, не подверженных эксплуатационной деградации, дано положительное заключение о возможности увеличения периода КМ с 4 до 6 лет (в том числе для корпуса реактора, ГЦТ);
- для элементов, в которых наблюдались повреждения металла, не приведшие к аварийным остановам РУ по причине их отказа при действующих 4-х летних периодах КМ (ряд композитных сварных соединений, швы приварки защитных рубашек патрубков крышки реактора, уплотнительные поверхности), рекомендовано оставить период КМ на прежнем уровне 4-4,5 лет (для уплотнительных поверхностей – при каждом разуплотнении);
- для элементов, в которых наблюдалась эксплуатационная деградация (шов №111 ПГ) период КМ определяется в рамках специальных программ.

Выполненные ОКБ «ГИДРОПРЕСС» для энергоблоков 1, 2 ТАЭС обоснования по допустимости увеличения межремонтных периодов оборудования, систем и трубопроводов РУ ВВЭР-1000 были одобрены надзорными органами (NNSA)

Китайским Заказчиком официально была выражена благодарность российским организациям за профессионально проделанную работу, позволившую эксплуатирующей организации (JNPC) получить лицензию на опытную эксплуатацию энергоблоков № 1 и 2 ТАЭС в увеличенных межремонтных периодах при переходе на 18-ти месячный топливный цикл.

Спасибо за внимание!