

# ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ САОЗ В РЕЖИМЕ РАБОТЫ ПОСЛЕ АВАРИИ С РАЗРЫВОМ ПЕРВОГО КОНТУРА

*У результаті оцінки працездатності системи охолодження активної зони в режимі роботи після аварії з розривом першого контуру були визначені властивості фрагментів, які могли бути утворені при випадку розриву трубопроводу під високим тиском і при високій температурі під захисною оболонкою*

*Ключові слова: система аварійного охолодження активної зони (САОЗ); захисна сітка*

*В результате оценки работоспособности системы охлаждения активной зоны в режиме после аварии с разрывом первого контура были определены свойства фрагментов, которые могли быть образованы при случае разрыва трубопровода под высоким давлением и при высокой температуре под защитной оболочкой*

*Ключевые слова: система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), защитная сетка*

*The evaluation of efficiency of core cooling in the regime after the accident with rupture of the primary circuit were determined properties of fragments that could be formed in case of rupture of the pipeline under high pressure and high temperature under a protective shell*

*Keywords: emergency core cooling system (ECCS), protective netting*

**А. В. Гришанова**

Студентка\*

Контактный тел.: 093-978-66-95

E-mail: zalyona@bigmir.net

**И. Ю. Торохтий**

Студент\*

Контактный тел.: 095-316-89-34

E-mail: toroh@i.ua

**Е. В. Карпинская**

Студентка\*

Контактный тел.: 095-826-97-13

E-mail: kahovskaya99@rambler.ru

**В. В. Шульга**

Студентка

\*Кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, 03056

Контактный тел.: 099-646-08-54

E-mail: sh-vika@ukr.net

Реализация на АЭС мероприятия, обеспечивает отвод остаточных тепловыделений при аварии с разрывом первого контура. Программы модернизации энергоблоков АЭС Украины с реакторами ВВЭР-1000 разрабатывались на основании требований пункта 5.1.5 [1], согласно которому в проекте АЭС должны быть рассмотрены и обоснованы мероприятия по предупреждению или защиты систем и элементов от отказа по общей причине, а также рекомендаций МАГАТЭ.

Данное мероприятие предназначено для решения проблемы обеспечения длительного отвода остаточных тепловыделений. Суть проблемы заключается в том, что при разрыве трубопровода первого контура под влиянием пароводяных струй происходит размывание тепловой изоляции, изготовленной из минеральных волокон. Фрагменты тепловой изоляции

потоками воды смываются в бак-приямок аварийного запаса раствора бора ГА-201. В результате может произойти постепенное забивание сетчатых конструкций фильтров бака, насосов и теплообменников САОЗ и, как следствие, кавитационный срыв насосов и отказ всех каналов САОЗ по общей причине, что подтверждено экспериментами на энергоблоке № 3 Южно-Украинской АЭС и энергоблоке № 5 Запорожской АЭС.

Тепловая изоляция предназначена для снижения тепловых потерь в окружающую среду от оборудования и трубопроводов, расположенных в герметичной части реакторного отделения энергоблока, а также для защиты от нагрева трубопроводов, транспортирующих среду с температурой ниже 12 °С. Съемная тепловая изоляция является элементом нормальной эксплуата-

ции четвертого класса безопасности и к первой категории сейсмостойкости согласно [2].

Основной функцией теплоизоляции является обеспечение теплового потока через изолированные поверхности оборудования и трубопроводов в соответствии с заданным технологическим режимом или нормативной плотностью теплового потока.

Критерием выполнения теплоизоляцией своих функций является обеспечение следующих требований:

- температура на поверхности теплоизоляции оборудования и трубопроводов, расположенных в помещениях ограниченного доступа, не должна превышать 60 °С, а для помещений, обслуживаемых, 45 °С;

- теплоизоляция должна быть съёмной;

- теплоизоляция должна быть работоспособная во всех проектных режимах работы энергоблока.

Конструкция тепловой изоляции должна быть устойчивой к удару струи и обеспечивать при внутренних воздействиях, включая аварии с разрывами трубопроводов первого и второго контуров, образование минимального количества поврежденного изоляционного материала.

На энергоблоке как изоляционный материал применен стандартная минеральная вата украинского и российского производства. Минеральная вата является наполнителем стеганых изоляционных матов, изготовленных из стекловолокна типа КТ-11. Для изоляции оборудования применяется несколько слоев таких изоляционных матов.

Площадь изолированной поверхности для покрытия изоляцией оборудования и трубопроводов, расположенных в гермообъеме, составляет 10000 м<sup>2</sup>.

При авариях с разрывами трубопроводов первого контура, включая разрыв ГЦК, под влиянием пароводяных струй происходит разрушение тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. Разрушенные остатки тепловой изоляции потоками воды смываются в бак-приемок, из которого вода через теплообменники САОЗ подается на всасывание спринклерного насоса и насосов САОЗ высокого и низкого давления. Расхолаживание РУ происходит по схеме: ГЦТ - течь - бак-приемок - теплообменник САОЗ - насосы САОЗ - ГЦТ.

Для обеспечения длительного отвода остаточного тепловыделения от активной зоны реактора при авариях с разрывами первого контура, включая разрыв ГЦК, необходимо было выполнить анализ поведения тепловой изоляции в Контаймент при аварии и влияние дефрагментированных остатков тепловой изоляции на работоспособность каналов системы САОЗ, для чего был выполнен ряд анализов:

- выбор наиболее неблагоприятного места разрыва ГЦК;

- выбор модели и анализ влияния пароводяных струй на тепловую изоляцию;

- количественная оценка объема повреждаемости тепловой изоляции;

- влияние скорости потока на перенос дефрагментированных остатков тепловой изоляции в гермообъеме;

- анализ путей переноса остатков тепловой изоляции в гермообъеме;

- анализ влияния поведения тепловой изоляции, в гермообъеме при аварии с разрывом ГЦК, на работоспособность САОЗ.

Для оценки возможных повреждений тепловой изоляции в литературе предлагается использовать область влияния удара струи конусообразной формы, для расчета была выбрана более консервативная сферическая модель. В результате расчетов объем поврежденной изоляции, составил 26,5 м<sup>3</sup> (110 кг).

В рамках программы TACIS был выполнен ряд стендовых экспериментов по уязвимости стандартной тепловой изоляции АЭС с ВВЕР-1000/320 [3], в качестве контрольной выступала Балаковская АЭС энергоблок № 4. Анализ волокон для исследования распределения размеров волокон в остатках, которые предположительно могут быть перенесены в фильтрующих сетках бака-приямка САОЗ энергоблока с ВВЕР-1000/320, показал, что примерно для 90% материалов:

- средняя толщина волокон стандартной тепловой изоляции составляла от 1,1 мкм до 1,6 мкм;

- средняя длина волокон стандартной тепловой изоляции составляла от 1,04 мкм до 1,08 мкм.

Предполагается, что при низких скоростях потока (от 0,15 до 0,21 м / с) мелкая фракция тепловой изоляции переносится потоками воды и, в конечном итоге, при консервативном подходе вся разрушена теплоизоляция (26,5 м<sup>3</sup>) попадает в бак - приемок в виде мелкой фракции.

Кроме разрушенной тепловой изоляции рассматривались также, как влияют на работу системы САОЗ:

- объем образования осколков бетона и лакокрасочных покрытий;

- влияние мелких частиц абразивного характера.

Результаты проведенных анализов и экспериментов показали большую вероятность забивания фильтров бака-приямка и теплообменников САОЗ фрагментами тепловой изоляции, что приведет к кавитации и срыва насосов САОЗ (отказ всех каналов САОЗ из общей причины) и, как следствие, к прекращению аварийного отвода тепла от активной зоны реактора и повреждению ядерного топлива более проектные пределы.

Таким образом, выполненные анализы подтверждают выводы, проведенных ранее полномасштабных экспериментов на энергоблоках № 3 ЮУАЭС и № 5 ЗАЭС об опасности выхода из строя системы САОЗ за разрушения тепловой изоляции при разрыве ГЦТ с последующим забивания фильтров-сеток бака-приямка ГА-201.

Опыт эксплуатации энергоблоков обнаружил эксплуатационные недостатки существующей конструкции тепловой изоляции:

- низкую технологичность;

- большой объем непригодной изоляции для повторного использования после проведения ППР, что связано с необходимостью обращения с дополнительными РАО;

- большие затраты персонала при проведении теплоизоляционных работ в ППР;

- образованию большого количества ТРО;

- способность алюминиевого покрытия выделять водород при химических реакциях, что является негативным фактором в плане решения проблемы преодоления водородной опасности;

- дефрагментацию на мелкие фракции под влиянием пароводяных струй.

Предполагается замена тепловой изоляции в гермообъеме следующих элементов РУ: ГЦТ, ПГ, улитку

ГЦН, компенсатора давления, трубопроводов системы компенсации давления, трубопроводов связи ГЕ САОЗ с реактором.

ЗТИ изготовлена из полутвердого минераловолокнистого теплоизоляционного материала NUKON, покрытого прочной специальной плетения стекловолоконных тканью, и образует эластичное теплоизоляционное покрытие (мат) для любого диаметра трубопровода, а также сосудов и оборудования любого размера и конфигурации. На мате закреплена петельные-крючковые система «Velcro». Для повышения надежности снаружи имеет закрытые кожухами из коррозионно-стойкой стали, с замками. Петельные-крючковые система «Velcro» и замки на кожухах позволяют быстро и надежно закрепить ЗТИ NUKON без применения инструмента. ЗТИ NUKON проектируется индивидуально после проведения обмеров на объекте, система разбивается на отдельные секции с габаритами и массой, что позволяет легко проводить их монтаж и демонтаж.

Тепловая изоляция является легко снимающейся на всем протяжении оборудования и трубопроводов, обеспечивает проведение контроля оборудования и трубопроводов, а также многократное применение теплоизоляции (монтаж-демонтаж) в течение всего срока службы (30 лет) Время снятия и установки одной секции ЗТИ не более двух часов, что приводит к снижению дозовых нагрузок на персонал. Крепление ЗТИ осуществляется без применения сварки и расходных материалов (проволоки, канатов).

ЗТИ обеспечивает установку и эксплуатацию на трубопроводах любой пространственной ориентации, позволяет изолировать поверхности сложной формы с углублениями и выступами. Конструкция ЗТИ не препятствует температурным деформациям оборудования и трубопроводов при многократных температурных колебаниях, которые приведут к расширению или сжатию оборудования и трубопроводов, снижение теплоизолирующих свойств ЗТИ не происходит.

Конструкция тепловой изоляции учитывает возможность прокладки под слоем тепловой изоляции специального трубопровода обнаружения протечек, используемой в реализации концепции «утечки перед разрушением».

ЗТИ более эффективна в тепловом отношении, чем применяемая минеральная вата, что позволяет снизить толщину слоя изоляции с 153 мм до 75-90 мм, уменьшив тем самым объем используемой теплоизоляции и, как следствие, уменьшается количество ГЕ, которая подвергается воздействию пароводяного струи в случае разрыва трубопровода первого контура в ГО.

Испытания ЗТИ, проведенные в США подтверждают вышеперечисленную техническую характеристику теплоизоляции.

Срок службы изоляции 30 лет.

Используемый в качестве основного слой теплоизоляционный материал отвечает следующим требованиям:

- Стойкость к радиационного излучения за весь период работы  $2 \cdot 10^7$  рад;
- Содержание водорастворимых хлоридов не более 0,02% (по массе);
- Щелочность, при пересчете на едкий натр не более 0,02% (по массе).

Материалы, применяемые в ЗТИ, не разрушаются и не дают усадку при длительном воздействии вибрации с частотой от 100 Гц и амплитудой до 0,01 мм.

ЗТИ изготовлена из негорючего теплоизоляционного материала. Материалы, применяемые в теплоизоляции, является не гигроскопическими. При пребывании в воде не размокают, не набухают, не меняют свою консистенцию и не становятся липкими.

Конструкция изоляции обеспечивает при внутренних воздействиях, включая аварии с разрывами трубопроводов первого и второго контуров, расположенных внутри гермозоны, образование минимального количества продуктов разрушения, гарантированно не приводит к отказу хотя бы одного канала САОЗ по общей причине.

Целью этого анализа было проведение оценки работоспособности приемка САОЗ после аварийной потери теплоносителя на первом блоке ЮУАЭС с реактором типа ВВЭР-1000. В этом анализе по общепринятой методике были оценены характерные свойства фрагментов, которые могли быть образованы при гипотетическом случае разрыва трубопровода под высоким давлением и при высокой температуре под защитной оболочкой. Расчеты потери давления на напоре на рециркуляционных защитных сетках приемков при срабатывании аварийного охлаждения активной зоны были сделаны как составляющая этого анализа для базового случая при засорении фрагментами. Были исследованы также влияния вариаций нескольких ключевых параметров. Ниже приводятся результаты исследования этой оценки [4].

1. Количество фрагментов изоляции минеральной ваты (базальта), попадающие на защитные сетки, более  $1,5 \text{ м}^3$ , может причинить значительное падение давления на защитных сетках. Это падение давления может привести к существенному перегрузки насосов при срабатывании системы аварийного охлаждения активной зоны.

2. Во всех рассмотренных случаях количество фрагментов изоляции материала NUKON, попадающего на защитные сетки, не приводило к значительному падению давления на защитных сетках при срабатывании насосов системы аварийного охлаждения активной зоны.

Таким образом, из данного анализа следует, что замена существующей теплоизоляции на материалы NUKON в первом контуре на первом блоке ЮУАЭС с реактором типа ВВЭР-1000, не окажет негативного влияния на эксплуатацию системы аварийного охлаждения активной зоны после аварии с потерей теплоносителя. Применение съемной тепловой изоляции NUKON повышает надежность и безопасность работы АЭС, так как ее разрушения при воздействии пароводяных струй при разрывах трубопроводов первого контура характеризуется отсутствием мелкодисперсной фракции, с высокой долей вероятности системы, что приводит к отказу, аварийного охлаждения активной зоны.

ЗТИ более эффективна в тепловом отношении, что позволяет снизить толщину слоя теплоизоляции, уменьшив тем самым объем используемой теплоизоляции. Уменьшение количества теплоизолирующего материала, подвергает воздействию пароводяных струй при разрывах трубопроводов, также уменьшит-

ся, потенциально предотвращает засорение сетчатых конструкций фильтров бака-приямка ГА-201, насосов и теплообменников САОЗ фрагментами теплоизоляции.

Тепловая эффективность ЗТИ NUKON позволяет снизить тепловые потери на трубопроводах и оборудовании и тем самым снизить температуру в гермозоны, что увеличивает ресурс электрического и другого оборудования, расположенного в ней.

Применение съемной тепловой изоляции NUKON приводит к снижению дозовых нагрузок на персонал при выполнении осмотров и ремонтов оборудования и трубопроводов за счет значительного сокращения

времени на монтажные и демонтажные операции с панелями ЗТИ.

Существенным преимуществом является длительный срок эксплуатации ЗТИ NUKON (30 лет) без снижения технических характеристик и возможность многократного использования теплоизоляции, снижает образование дополнительных ТРО.

Применение ЗТИ NUKON не требует внесения изменений в строительную часть, в другие системы АЭС.

Применение ЗТИ NUKON обеспечивает ликвидацию отступления от п.5.1.5 [1], т.е. исключается отказ каналов САОЗ по общей причине.

#### Литература

1. Методичні вказівки до практичних занять за курсом "Теорія ядерних реакторів" для студентів спеціальності "Атомні електричні станції й установки" / Сост. О. В. Неделін. - К.:КІП, 1991. -24с
2. "Концепція підвищення безпеки діючих енергоблоків атомних електростанцій", затверджена розпорядженням Кабінета Міністрів України від 13 грудня 2005 г. № 515-р
3. ТУ У26.1-31489678.001-2003. Зйомна тепла ізоляція NUKON". Технічні умови
4. Alion-Rep-Batt-05-001-01. Оцінка ефективності роботи системи аварійного охолодження активної зони в режимі роботи після аварії зі втратою теплоносія на енергоблоці № 2 ХАЕС і енергоблоці № 4 РАЕС

*Даний опис принципу глибокоєшелонованого захисту. Описані порушення рівнів та бар'єрів безпеки під час аварії на АЕС Фукусіма*

*Ключові слова: АЕС, Фукусіма, аварія*

*Дано описание принципа глибокоєшелонированной защиты. Описаны нарушения уровней и барьеров безопасности во время аварии на АЭС Фукусима*

*Ключевые слова: АЭС, Фукусима, авария*

*Deep-echelon defense principles are reviewed. Failures of safety levels and barriers during the accident on Fukushima NPP are described*

*Keywords: NPP, Fukushima, accident*

УДК 001.891:65.011.56

## НАРУШЕНИЕ УРОВНЕЙ И БАРЬЕРОВ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ НА АЭС ФУКУСИМА

**А. И. Бутенко**

Магистрант

Кафедра атомных электрических станций и инженерной теплофизики

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

Контактный тел.: 097-390-67-99

E-mail: antosik@i.ua

#### Введение

Согласно действующих нормативных документов *Безопасность АЭС* – свойство не превышать установленные пределы радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду при нормальной эксплуатации АС, нарушениях нормальной эксплу-

атации и проектных авариях, а также ограничивать радиационное воздействие при запроектных авариях.

Базовой целью безопасности АС является защита персонала, населения и окружающей среды от недопустимого радиационного воздействия при вводе в эксплуатацию, эксплуатации и снятии с эксплуатации АЭС.