

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 Кабінету 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.

Безопасность АЭС должна обеспечиваться за счет последовательной реализации концепции глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении:

- системы физических барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду;
- системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности.

Стратегия глубоко эшелонированной защиты направлена на достижение двух целей:

- Предотвращение аварий
- В случае если авария произошла, - на ограничение потенциальных представлений аварии и предотвращение ее развития до более серьезного уровня.

Система последовательных физических барьеров включает:

- топливную матрицу;
- оболочку твэла;
- границу контура теплоносителя РУ;
- герметичное ограждение РУ;
- биологическую защиту.

При нормальной эксплуатации все указанные барьеры и необходимые технические средства их контроля и защиты должны быть работоспособны, и находиться в состоянии, при котором они способны выполнять возложенные на них функции. При нарушении этого условия энергоблок должен быть переведен в безопасное состояние согласно эксплуатационной документации.

Исходя из данных положений об безопасности АЭС можно рассмотреть и проанализировать нарушения систем и барьеров безопасности. Определить как явные, так и косвенные причины дефицита безопасности на АЭС Фукусима-1 (табл.1).

Учитывая что стратегия глубоко эшелонированной защиты является основным документом регламентирующим безопасность то имеет смысл проанализировать процессы и причины которые его нарушили на АЭС Фукусима.

Глубоко эшелонированная защита имеет 5 уровней и барьеров безопасности.

**Уровень 1.** Создание условий, предотвращающих нарушения нормальной эксплуатации:

- оценка и выбор площадки, пригодной для размещения АЭС;
- разработка проекта на основе консервативного подхода с развитым свойством внутренней самозащитности реакторной установки;
- обеспечение требуемого качества систем (элементов) АЭС и выполняемых работ;
- эксплуатация АЭС в соответствии с требованиями нормативных документов, технологических регламентов и инструкций по эксплуатации;
- поддержание в исправном состоянии систем (элементов), важных для безопасности, путем своевременного выявления дефектов, принятия профилактических мер, замены выработавшего ресурс оборудования и организации эффективно действующей систем документирования результатов работ и контроля;
- подбор персонала АЭС и обеспечение необходимого уровня его квалификации для действий в условиях нормальной эксплуатации и нарушениях

нормальной эксплуатации, включая аварийные ситуации и аварии;

- формирование культуры безопасности.

Какие же принципы 1 уровня глубоко эшелонированной защиты были нарушены.

Учитывая развитие событий и затопление дизель генераторов можно сделать вывод об ошибке еще на этапе проектирования, то есть при выборе площадки для размещения АЭС, а особенно места установки дизель генераторов. Также учитывая, что затопления дизель генераторов уже происходило и в менее экстремальных условиях, так как помещение дизель генераторов находилось ниже уровня моря, свидетельствует об недостаточно серьезном подходе к анализу прошедших инцидентов. Также что касается самого места расположения: АЭС построена на побережье такое расположение может быть обосновано только с точки зрения удобства использования воды из океана для охлаждения. С другой стороны это создает дополнительный риск воздействия внешних «экстремальных» факторов, таких как затопление и цунами.

Что касается разработки проекта на основе консервативного подхода то можно сказать, что Фукусима-1 была рассчитана проектом выдержать землетрясение максимальной магнитудой 8 баллов и отдельно на цунами максимальной шириной волны до 10 метров. Недостатком консервативизма стало то, что не было предусмотрено, что при возникновении настолько мощного землетрясения в острове посреди океана должно повлечь за собой цунами.

Увы, культура безопасности тоже подвела, как заявляет заместитель генерального директора концерна «РОСЭНЕРГОАТОМ» Владимир Асмолов в интервью в газете «Страна росатом», что блоки сами почти двое суток боролись за свою жизнь, пока люди бездействовали. Это показывает уникальную стойкость РУ которая самостоятельно обеспечивала свою стабильность при отсутствии электропитания и эксплуатирующего персонала и при этом не привело к ядерному взрыву реактора.

Нарушением **2 уровня** глубоко эшелонированной защиты, который постулирует о предотвращении проектных аварий системами нормальной эксплуатации. Этот уровень был уничтожен автоматически так как большинство оборудования нормальной эксплуатации было разрушено либо выведено из строя в следствии землетрясения. То есть систем безопасности, которые могли бы поддерживать АЭС в стабильном состоянии на тот момент уже просто не было.

Нарушением **3 уровня** указывающего на предотвращение, ликвидацию аварий и ослабление их последствий.

Как уже известно, на сегодняшний день из мнений специалистов если бы на станции оставалось электропитание, то последствия аварии были бы значительно меньшими. То есть главной причиной можно считать затопление дизель генераторов, которое можно было бы предотвратить, проанализировав проект и прошлый опыт эксплуатации и поднять помещение и сами дизельгенераторы выше уровня моря. С исправлением данного недостатка возможно было бы уменьшить вероятность срыва охлаждения активной зоны и плавания ТВС.

Таблица 1

## Хронология событий на Фукусима

| № з/п | Дата, Время                    | Описание событий   | Краткая характеристика событий   |
|-------|--------------------------------|--|--|
|       | <p>11.03.2011</p> <p>11:04</p> | <p><b>Замелетресение магнитудой 9 баллов.</b></p> <p><b>Разрушены все 3 линии внешнего электропитания боков АЭС Фукусима-Даичи.</b></p> <p>Срабатывания систем аварийной защиты энергоблоков по факту землетрясения.</p> <p>Подача энергоснабжения на насосы охлаждения реакторов и системы безопасности от резервных дизельных электрогенераторов АЭС.</p> <p>Уменьшение накопленного запаса тепловой энергии в течение одного часа штатными системами безопасности и охлаждения.</p> <p><b>Горит атомная станция Онагава:</b> пожар возник в турбинном зале, на борьбу с огнем брошены военные.</p>  | <p>Самое большое землетрясение за всю историю наблюдений. Разрушены сотни домов, остановлены все заводы и предприятия, нарушено железнодорожное и автомобильное сообщение, начались многочисленные пожары, рис.1.</p> <p>Пожар на АЭС Онагава потушен, реактор под контролем.</p>  |
|       | <p>11.03.20</p> <p>12:01</p>   | <p><b>Цунами, с высотой волны 10 м.</b></p> <p>Затопление площадки АЭС Фукусима, дизельных электрогенераторов и линий управления энергоблоками.</p> <p>Постоянное аварийное охлаждение реакторов нарушено.</p> <p>Постепенное выкипания реакторов и повышение давления внутри реактора и первого контура.</p> <p>Разгерметизация первого контура, выход паров теплоносителя вместе с летучими радиоактивными продуктами деления урана (изотопы благородных газов, йода и т.д.) в гермозону реактора (контаймент).</p> <p>Повышение температуры топливных стержней, начало плавления оболочек (800°C).</p> <p>Повышение давления в контайменте, накопления радиоактивных изотопов.</p> <p>Открытие вентиляционных шлюзов контаймента для снижения давления.</p> | <p>Высота приливной волны превысила 10 метров. В нескольких префектурах цунами снесло дома и машины, находившиеся на дорогах. Гигантская волна накрыла поля и дороги, разрушая здания и сооружения. Объявлен режим чрезвычайного положения.</p> <p>Генеральный секретарь правительства объявил об эвакуации населения.</p> |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  | <p>12.03.20</p>   | <p>Повышение температуры топливных стержней до начала существенного увеличения интенсивности экзотермической реакции циркония с водой (1200°С) с выделением большого количества тепла и водорода.</p> <p><b>Первый взрыв водорода на 1 блоке АЭС Фукусима.</b></p> <p><b>Разрушение контаймента (внешней бетонной оболочки) 1-го энергоблока станции.</b></p> <p><b>Выброс радиоактивных веществ (радиоактивные благородные газы, легкие изотопы йода, и меньшей цезия).</b></p> <p>На 1 блок АЭС закачивают в реакторы морскую воду и борный раствор.</p> <p>Ядерное топливо частично расплавилось, вместе с внутренними конструкциями реактора. Выход топливных частиц наружу невозможен (корпус реактора не поврежден, поэтому отсутствует прямой контакт расплава с атмосферой).</p> | <p>В связи с нарушением целостности первого контура, невозможность подачи воды на охлаждение реактора насосами АЭС. Внешнее охлаждение - единственная возможность сохранить целым корпус реактора (толщина 20 см.)</p>  |
|  | <p>13.03.20<br/>22:13</p>                               | <p>Около 140 тысяч человек эвакуированы из районов, расположенных вблизи двух японских АЭС, пострадавших в результате пятничного землетрясения.</p>  | <p>Эвакуация предусмотрена аварийными планами тяжелых аварий.</p>   |
|  | <p>14.03.20<br/>08:01<br/>17:03<br/>17:13<br/>21:37</p> | <p><b>Взрыв водорода на 3 блоке.</b></p> <p>На 1 и 3 блока АЭС закачивают в реакторы морскую воду.</p> <p><b>На втором реакторе отключилась система охлаждения.</b></p> <p>Залив морской воды на 2 блок.</p> <p>Радиационный фон на территории станции составил 3130 микрозивертов в час (0,3 рентген в час).</p> <p>С 30-км зоны АЭС Фукусима-1 отселены около 185 тысяч человек.</p>   | <p>Произошел частичный (70% на 1 энергоблоке и 33% на 3) расплав топлива.</p> <p>Корпуса реакторов благодаря внешнему охлаждению остались целыми, выброс частиц топлива предотвращен.</p> <p>Радиацию обуславливают легкие изотопы продуктов деления урана.</p> |
|  | <p>15.03.20<br/>11:53</p>                               | <p><b>Взрыв водорода на втором энергоблоке.</b></p> <p><b>Взрыв водорода и пожар, последовавшие за ним, на четвертом энергоблоке.</b> В стене дома образовались две дыры, площадь каждой из которых составляла около восьми квадратных метров.</p> <p>Начато закачки воды в бассейн с отработанным ядерным топливом на четвертом энергоблоке аварийной АЭС Фукусима-1.</p> <p>На работах по сдерживанию аварийной ситуации на станции заняты 50 человек.</p>   | <p>Взрыв водорода - это логическая событие при отсутствии отвода теплоты энерговыделения, пожар произошел в гермозоне как следствие взрыва и отсутствия воды в бассейне выдержки отработанного топлива.</p>   |

Продолжение таблицы 1

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  | <p>16.03.2005:45</p> <p>07:57</p> <p>23:14</p> | <p>На четвертом энергоблоке АЭС Фукусима-1 появилось пламя, примерно через 30 минут пламя исчезло.</p> <p><b>Нагревается хранилище с отработавшим топливом, которое расположено над реактором.</b></p> <p>Отмечен высокий уровень радиации на АЭС, зафиксировано радиоактивное излучение на уровне 400 мЗв в час (40 рентген).</p> <p>Уровень радиации начал снижаться.</p> <p>К АЭС пытаются подвести новую линию электропередачи, чтобы обеспечить энергией систему охлаждения реакторов и хранилищ отработанного ядерного топлива.</p> | <p>Не совсем погашен предыдущий пожар.</p> <p>Повышение уровня радиации по причине пожара в бассейне выдержки отработавшего топлива (повреждение внешних оболочек ТВЕЛ)</p> |
|  | <p>17.03.20</p>                                | <p>Специалисты взяли ситуацию под контроль и предотвратили аварию с разрушением реакторов, затопили их морской водой (внешнее охлаждение).</p>  | <p>Выброс йода в атмосферу неприятный, но даже в худшем случае, если будет поражена щитовидная железа, достаточно принимать хорошо известные и опробованы лекарства.</p>    |

За исключением этого фактора еще был отказ или недостаточная мощность рекуператоров главной задачей, которых было беспламенное окисление водорода в помещении ГО. В следствии чего было достигнуто критическое значение концентрации водорода в ГО что повлекло за собой разрушение гермооболочки блоков.

Также были допущены явные ошибки *Уровня 4* безопасности в котором говорится об управлении запроектными авариями:

- предотвращение развития запроектных аварий и ослабление их последствий;
- защита герметичного ограждения от разрушения при запроектных авариях и поддержание его работоспособности;
- возвращение АЭС в контролируемое состояние, при котором прекращается цепная реакция деления, обеспечивается постоянное охлаждение ядерного топлива и удержание радиоактивных веществ в установленных границах.

Как уже известно, гермооболочка которая есть последним барьером безопасности была разрушена это говорит о том что локализирующие системы безопасности не смогли выполнить свою непосредственную задачу. Это указывает на отсутствие анализов безопасности которые должны были указать на максимально возможное выделение водорода и давление которое он может создать в следствии детонации или дефляции. И по результатам должны быть установлены соответствующие системы, предназначенные для удаления или недопущения создания взрывоопасных концентраций.

Также учитывая то, что действия по локализации аварии начались по истечении двух дней это свидетельствует про неготовность персонала к подобным ситуациям, а это означает, что на станции отсутствовали инструкции, в которых описывались действия персонала.

*5 Уровень* в котором описывается аварийная готовность и реагирование.

Судя по всему, в Японии не было создано антикризисного центра, потому двое суток действий по предотвращению развития до более серьезных последствий небыли предприняты до приезда на место событий премьер-министра Японии. Что еще раз подчеркивает аварийную не готовность Японии к авариям подобного масштаба. Ни одна организация не давала указаний по локализации аварии так как скорей всего никто не знал как правильно поступить и не хотел брать ответственность на себя. Радует, что вовремя были выполнены требования касающиеся создания санитарной зоны, что в свою очередь позволило избежать чрезмерного облучения населения. Этот факт внес большой вклад в развитие аварии, так как уже известно, если бы сразу после срыва охлаждения активной зоны подогнали бы те катера и начали бы подавать морскую воду на охлаждение возможно бы даже не создались бы такие условия при которых происходила активная наработка водорода. И также если бы персонал имел необходимую информацию о поведении неконденсированных газов и бездумно не сбросили водород с первого контура в гермооболочку где и произошла его детонация и радиоактивного загрязнения территории могло бы и не быть.

**Выводы**

Конечно же основной причиной аварии техногенного характера стала стихия. Величайшее за магнитудой землетрясение и последующее за ним цунами стало началом протекания такого серьезного аварийного процесса. Но последствия аварии могли быть значительно меньшими, если бы не было допущено столько нарушений как проектных так и организационных.

Исходя с изложенного выше можно сделать вывод, что поведение неконденсированных газов, особенно таких как водород в ГО АЭС коственно влияет на безопасность атомной станции в целом. Этот вопрос до сих пор является до конца не изученным. В связи с

этим помимо проведения так званых «Стресс тестов» атомных станций необходимо проводить исследования касающиеся возможного выделения неконденсированных газов в ГО АЭС индивидуально для каждого проекта. Этот вывод выплывает из того что в данной ситуации, АЭС Фукусима-1 выдержала землетрясение, цунами и еще 2 суток реакторная установка самостоятельно обеспечивала свою стабильность по сред-

ствам обратных связей, ключевым в развитии аварии стало именно детонация водорода в гермообъеме.

Даная статья была написана на основе общедоступных источников информации, так как Японское правительство продолжает вести политику не разглашения и до сих пор нет никаких официальных отчетов касающихся событий на АЭС Фукусима. То есть данная информация может еще со временем уточняться.

#### Литература

1. А.В.Носовски, В.И.Богорад, В.Н.Васильченко, А.А.Ключников, Т.В.Литвинская, А.Ю.Слепченко. Радиационная безопасность и защита на атомных Электрических станциях. Харьков «Оберіг»,2008. — 354с.

**Розглянуто питання визначення відносної нерівномірності температурного поля усередині функціональної місткості дослідної НВЧ-сушарки**

**Ключові слова:** НВЧ-нагрівання, функціональна місткість, температурне поле

**Рассмотрен вопрос определения относительной неравномерности температурного поля внутри функциональной емкости опытной СВЧ-сушилки**

**Ключевые слова:** СВЧ-нагрев, функциональная емкость, температурное поле

**The problem of relative unevenness determination of the temperature field into the functional capacity of investigated microwave - drier is considered**

**Keywords:** microwave - heating, functional capacity, temperature field

УДК 664.834.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЕМКОСТИ СВЧ-СУШИЛКИ

**В. А. Потапов**

Доктор технических наук, профессор  
Кафедра холодильной и торговой техники\*  
Контактный тел.: (057) 349-45-88, 066-139-22-27  
E-mail: potapov@bigmir.net

**М. М. Цуркан**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра энергетике и физики\*  
Контактный тел.: (057) 349-45-86, 095-696-47-77  
E-mail: tsurkan\_n@ukr.net

**И. А. Андрюшин**

Магистр  
Кафедра холодильной и торговой техники

\*Харьковский государственный университет питания и торговли  
ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051  
Контактный тел.: (057) 349-45-86, 093-197-85-03  
E-mail: htt\_hduht@mail.ru

#### Постановка проблемы в общем виде

Одними из наиболее энергозатратных технологических процессов пищевой промышленности независимо от способа их реализации являются процессы сушки разнообразного пищевого сырья, поэтому поиск путей повышения энергоэффективности процессов сушки наряду с другими технологическими процессами в пищевой промышленности является приоритетной проблемой для отраслевой науки.

Сегодня в пищевой промышленности, в частности, в технологических процессах, связанных с сушкой пищевого сырья, все больше распространяется использование СВЧ-энергии. В этом направлении, следовательно, необходимы соответствующие теоретические исследования процессов сушки на примере определенных физических и математических моделей, которые дадут возможность описывать реальные тепломассообменные процессы на основе соответствующих функциональных зависимостей и, таким образом