



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№3

2016

СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

В современных проектах АЭС с реакторами нового поколения предусматриваются системы и специальные технические средства, обеспечивающие высокие уровни безопасности не только при проектных авариях, но и при запроектных с тяжелыми последствиями и вероятностью выхода радиоактивности в окружающую среду. Тяжелые аварии имеют очень малую вероятность возникновения. Но, поскольку, как считают специалисты атомной отрасли, безопасности много не бывает, при проектировании современных АЭС разрабатываются специальные меры по управлению такими авариями и по смягчению их последствий. Положения современной концепции безопасности АЭС отражены в документах МАГАТЭ и предусматриваются к реализации национальными нормативно-законодательными и нормативно-техническими документами.

АЭС-2006

Для управления авариями, включая запроектные аварии (ЗПА) с тяжелым повреждением активной зоны, в проекте АЭС-2006 предусмотрены специальные технические средства, пассивные и активные системы безопасности, в том числе:

- система пассивного отвода тепла от защитной оболочки;
- система пассивного отвода тепла через парогенераторы;
- баки аварийного отвода тепла;
- система аварийной подпитки баков аварийного отвода тепла;
- системы контроля и удаления водорода;
- устройство локализации расплава (ловушка расплава);
- система химического связывания летучих форм йода;
- система аварийного электроснабжения при ЗПА;
- система аварийного использования воды из шахты ревизии внутрикорпусных устройств;

внутренняя и наружная защитные оболочки здания реактора и др.

Система пассивного отвода тепла от защитной оболочки относится к техническим средствам преодоления запроектных аварий и предназначена для длительного (автономный режим – не менее 24 ч) отвода тепла от защитной оболочки.

Система обеспечивает снижение и поддержание в заданных проектом пределах давления внутри защитной оболочки и отвод к конечному поглотителю тепла, выделяющегося под защитную оболочку при запроектных авариях, включая аварии с тяжелым повреждением активной зоны.

Система пассивного отвода тепла через парогенераторы предназначена для длительного отвода остаточного тепла активной зоны конечному поглотителю при запроектных авариях через второй контур. Система дублирует соответствующую активную

систему отвода тепла к конечному поглотителю в случае невозможности выполнения ею проектных функций.

Системы контроля и удаления водорода из защитной оболочки обеспечивает:

при проектных авариях – поддержание в помещениях под защитной оболочкой концентраций водорода в смеси с водяным паром и воздухом ниже концентрационных пределов распространения пламени в расчетном диапазоне изменения параметров среды;

при запроектных авариях – поддержание концентрации водорода на уровнях, исключающих детонацию и развитие быстрого горения в больших объемах (соизмеримых с размерами основных отсеков контейнента).

В состав оборудования системы удаления водорода входит комплект пассивных автокаталитических рекомбинаторов водорода.

Система аварийного использования воды из шахты ревизии внутрикорпусных устройств (ВКУ) предназначена:

для подачи борированной воды из шахты ревизии ВКУ в устройство локализации расплава при запроектных авариях, связанных с плавлением активной зоны реактора и выходом расплава за пределы корпуса реактора;

для подачи в баки-приямки защитной оболочки раствора щелочи NaOH с целью снижения скорости образования летучих форм йода внутри защитной оболочки.

Система аварийного электроснабжения при ЗПА. Электроснабжение систем контроля и управления при ЗПА осуществляется от дополнительного канала электроснабжения, имеющего аккумуляторные батареи, рассчитанные на 72 ч разряда в режиме ЗПА при полном обесточивании; кроме того, в проекте предусмотрена возможность подключения передвижного дизель – генератора.

Устройство локализации расплава (ловушка расплава)

Наибольшую радиационную опасность представляют запроектные аварии с расплавлением активной зоны реактора в результате множественных отказов оборудования систем охлаждения, что может повлечь за собой проплавление корпуса реактора, выход расплава за его пределы, проплавление фундаментной плиты здания реактора и в результате – повреждение защитной оболочки (контейнента) и нарушение ее герметичности.

В течение последних двух десятилетий в различных странах проводятся интенсивные исследования, направленные на изучение и практическое приложение концепции внутрикорпусного удержания расплава для гипотетической тяжелой аварии. Данные исследования актуальны как для новых строящихся атомных станций, так и для модернизации действующих реакторов легководяного типа.

Для реакторов малой и средней мощности представляется возможным обеспечить локализацию расплавленного корнума в корпусе реактора; для реакторов большой мощности разработана пассивная система защиты – устройство локализации расплава (ловушка расплава). Удержание расплава корнума во время тяжелой аварии внутри контейнента – главное требование проектирования и эксплуатации пассивной системы защиты любой современной АЭС.

Ловушка расплава обеспечивает удержание и охлаждение жидких и твердых фрагментов разрушенной активной зоны, частей корпуса реактора и внутрикорпусных устройств в границах контейнента в контролируемом состоянии в течение времени, требуемого для принятия адекватных мер по управлению аварией, и выполняет следующие основные функции:

прием и размещение в своем объеме жидких и твердых компонентов расплава, фрагментов активной зоны и конструктивных материалов реактора;

передачу тепла от расплава охлаждающей воде;

удержание днища корпуса реактора при его отрыве;

предотвращение выхода расплава за пределы установленных в проекте границ локализации;

обеспечение подкритичности расплава;

обеспечение подачи охлаждающей воды и отвод пара;
обеспечение минимального выброса радиоактивных веществ в герметичную оболочку;

минимизацию выброса водорода с целью исключения возможности образования взрывоопасных концентраций;

непревышение максимальных допустимых напряжений в конструкциях бетонной шахты помещения ловушки расплава при воздействии со стороны расплава;

на этапе продолжительного охлаждения расплава обеспечивает защиту против разрушения опорных конструкций реактора и сухой защиты.

В настоящее время интенсивно развиваются две концепции таких устройств:

растекание расплавленного кориума по большой горизонтальной поверхности в специальном помещении с последующим охлаждением расплава путем подачи воды в данное помещение;

удержание расплава кориума в охлаждаемом водой снаружи металлическом корпусе, расположенном в подреакторном пространстве бетонной шахты (ловушка расплава тигельного типа).

Ловушка расплава для реакторов EPR. Устройство ловушки по первой концепции принято за рубежом для АЭС с реакторами EPR (Evolutionary Power Reactor). Проект этого реактора разработан совместно компаниями Франции (Areva NP и EDF) и Германии (Siemens AG).

Недостаток устройства ловушки такого типа связан с необходимостью горизонтального перемещения расплавленного кориума на значительные расстояния из предловушки через расплавопроводящий канал в помещение для растекания, где и должен расплав распределиться по площади всего помещения. Необходимым условием реализации такого решения является обеспечение достаточной текучести расплава на протяжении всего пути его движения и в течение всего времени движения. Это условие не может быть достаточно обосновано, учитывая недостаточность знания свойств и состава кориума, а также кинетики его взаимодействия с жертвенным материалом в предловушке. Может возникнуть ситуация, что кориум может застыть в расплавопроводящем канале.

Ловушка расплава для реакторов ВВЭР-1000, 1200. Россия для реакторов ВВЭР-1000, 1200 активно развивает концепцию удержания расплава кориума в устройстве локализации тигельного типа. Устройство такого типа достаточно компактно, что позволяет поместить его непосредственно под днищем корпуса реактора. Такая конструкция полностью устраняет недостаток устройства ловушки в реакторах EPR.

Ловушка расплава расположена на плите герметичной оболочки под днищем корпуса реактора в бетонной шахте помещения ловушки и состоит из охлаждаемого водой стального корпуса, внутренний объем которого частично заполнен сравнительно легкоплавкими оксидами железа и алюминия с малой плотностью и сталью, выполняющими роль так называемого жертвенного материала.

Корпус ловушки вместе с внешним водяным охлаждением является основным компонентом устройства для приема и локализации расплавленной активной зоны. Через стенки корпуса обеспечивается отвод тепла от расплава к охлаждающей воде. Вода поступает непосредственно на поверхность расплава через специальные клапаны. В корпусе происходит охлаждение кориума до полной кристаллизации и продолжительное его хранение.

В проекте РУ АЭС-2006 под корпусом реактора находятся опоры, каждая из которых по профилю приблизительно повторяет контур днища. Предусматривается, что при аварии в результате деформирования корпус удлиняется и опускается на опоры, после чего деформация растяжения в стенке корпуса стабилизируется. При нагревании корпуса стальная стенка разрушается путем плавления.

Для всех рассматриваемых постулированных сценариев тяжелых аварий разрушение корпуса реактора протекает спустя 2–10 ч после начала аварии, что позволяет управлять ее

развитием. При разрушении тепловых защит верхней части корпуса устройства локализации расплава происходит срабатывание пассивных клапанов подачи воды на расплав.



Монтаж корпуса ловушки расплава ЛАЭС-2

В случае тяжелой запроектной аварии расплавленные топливные и конструкционные материалы заполняют полость ловушки и не разрушат основание и фундамент под корпусом и зданием реактора. Локализация и охлаждение расплава осуществляется в пределах подреакторного помещения бетонной шахты неограниченное время при условии отвода тепла за пределы герметичной оболочки с помощью пассивных систем. Если клапаны не сработали, то оператор осуществляет открытие арматуры подачи воды из шахт ревизии внутрикорпусных устройств.

Ловушка расплава на АЭС впервые в мире была реализована на блоках № 1 и 2 Тяньваньской АЭС. По инициативе китайского Заказчика в период 1995–1998 гг. и 1999–2002 гг. были проведены экспертизы МАГАТЭ по материалам проекта АЭС с ВВЭР-1000 для КНР, которые подтвердили соответствие проекта мировым стандартам, применяемым в практике оценки безопасности АЭС.

Для строящейся Белорусской АЭС, согласно проекту АЭС-2006, предусмотрены пассивные и активные системы безопасности, позволяющие управлять и предотвращать развитие аварийных ситуаций.

Источники:

- 1 Практические основы разработки и обоснования технических характеристик и безопасности эксплуатации реакторных установок типа ВВЭР.– М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2015. – 480 с.
- 2 http://tc.by/download_files/atomexpo/spbaer.pdf
- 3 Буклет «Проект АЭС-2006» Основные Концептуальные решения на примере Ленинградской АЭС-2 http://atomproekt.com/resources/.../AES-2006_2011_RU_site.pdf
- 4 <http://www.rosatom.ru/>

Материал подготовили: Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99
тел.: 391-14-43, факс: 391-13-35, Web-site: <http://www.sosny.bas-net.by>
E-mail: valentina.brylioiva@yandex.by

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь