

В. И. Скалозубов¹, Ю. А. Комаров¹, В. Н. Ващенко², С. С. Яровой²

¹Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

²Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев

СОСТОЯНИЯ И УСЛОВИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЕКТНЫХ РЕЖИМАХ АЭС С ВВЭР

Рассмотрены вопросы современного состояния взрывобезопасности АЭС с ВВЭР в режимах нормальной эксплуатации и при возможных проектных авариях. Показана необходимость совершенствования методического обеспечения при моделировании и анализе условий детонации и дефлаграции водорода в проектных режимах с разгерметизацией реакторного контура.

Ключевые слова: защитный барьер безопасности (ЗББ), система безопасности, барботажный бак (ББ), компенсатор давления (КД), импульсно-предохранительное устройство (ИПУ), гермообъем (ГО), реакторная установка (РУ), линия постоянного удаления водорода (ЛПУВ), водородсодержащая паровоздушная смесь (ВПВС).

Обеспечение безопасности при возможных детонациях взрывоопасных смесей (взрывобезопасность) является неотъемлемой частью общих вопросов обеспечения безопасности АЭС. Проектами энергоблоков с ВВЭР предусмотрена взрывозащита, под которой понимаются меры предотвращения воздействия на персонал и население, а также ослабляющие воздействия на системы и оборудование АЭС опасных и вредных последствий детонации и дефлаграции.

Основные принципы обеспечения взрывозащиты АЭС с ВВЭР соответствуют общепринятым требованиям и рекомендациям МАГАТЭ по безопасности и заключаются в следующем:

1) взрывозащита обеспечена, если исключены достаточные условия детонации при проектных режимах эксплуатации (включая проектные аварии) и при запроектных авариях. При запроектных авариях допускается дефлаграция парогазовых смесей при условии выполнения локализующими системами безопасности проектных функций;

2) контролировать и поддерживать концентрацию взрывоопасных смесей менее нижнего концентрационного предела дефлаграции;

3) предотвращение дефлаграции и детонации должно достигаться в основном применением пассивных элементов (например, пассивных каталитических рекомбинаторов), регулирующих параметры и состав взрывоопасных смесей.

Разработанная/разрабатываемая в настоящее время в Украине эксплуатационная документация по управлению и ликвидации последствий аварий определяет действия персонала при возникновении процессов детонации/дефлаграции.

Катастрофические события на АЭС Фукусима-1 показали значительную актуальность вопросов взрывобезопасности и взрывозащиты для обеспечения безопасности АЭС: произошедшие взрывы на энергоблоках № 1 – 4 послужили одной из основных причин разрушения ЗББ РУ и недопустимых выбросов радиоактивных продуктов. Эти события заставляют более глубоко пересмотреть состояние и условия взрывобезопасности на действующих и проектируемых энергоблоках с ВВЭР.

Анализ безопасности АЭС с ВВЭР показывает, что наиболее вероятными и опасными для ЗББ являются взрывы ВПВС и паровые (энергетические) взрывы, имеющие разную физическую природу. Кроме того, формирование условий детонации/дефлаграции в проектных режимах (нормальные условия эксплуатации и проектные аварии) и при запроектных (в том числе тяжелых) авариях имеют, в общем случае, различные доминантные источники, механизмы и условия возникновения взрывоопасных ситуаций. Поэтому далее будут отдельно рассмотрены вопросы состояния и условий взрывобезопасности при проектных режимах и тяжелых авариях.

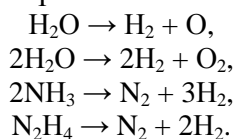
© В. И. Скалозубов, Ю. А. Комаров, В. Н. Ващенко, С. С. Яровой, 2012

В проектных режимах (в режимах нормальной эксплуатации и при проектных авариях) основным процессом взрывобезопасности является возможная при определенных условиях детонация ВПВС, имеющая термохимическую природу, в реакторном контуре и контейнменте.

Необходимыми условиями такой детонации и дефлаграции ВПВС является наличие газообразного водорода и кислорода (окислителя).

Достаточными условиями детонации/дефлаграции ВПВС является критическое соотношение концентраций водорода – кислорода – нейтрализующих газов/рекомбинаторов водорода (пар, азот, инертные газы и др.) при определенном теплогидродинамическом состоянии среды.

Основными источниками водорода и кислорода являются рекомбинационные процессы радиолитического распада воды (H_2O) теплоносителя под воздействием реакторного излучения; реакции распада аммиака (NH_3) и гидразингидрата (N_2H_4), которые добавляются в водно-химический режим теплоносителя для подавления образования кислорода в результате радиолитического распада:



Дополнительными источниками водорода и кислорода в проектных режимах могут быть также интенсивные пульсации теплогидродинамических параметров в переходных и аварийных процессах («паровые шипы»), приводящие к термодинамическому распаду молекул воды [1].

Основными технологическими системами ВВЭР-1000, в которых происходит удаление и устранение водорода, являются: система спецводоочистки (СВО-2); система дожигания водорода (TS10); система очистки технологических сдувок (TS20).

При выводе теплоносителя 1-го контура на спецводоочистку, деаэрацию или через организованные протечки (в том числе из объема газового объема ББ КД) происходит сброс давления среды, выход водорода в газовый объем и последующее его удаление и уничтожение в системе дожигания водорода (TS10).

Обычно в стационарных режимах эксплуатации устанавливается равновесная концентрация водорода и других газов в теплоносителе 1-го контура, которая соответствующим образом контролируется и нормируется.

В нормальных условиях эксплуатации концентрация водорода поддерживается в диапазоне 2,7 – 5,4 мг/дм³ (п. 5.1.2.6 ТООБ ЗАЭС-5). По другим данным – в диапазоне 2,2 – 4,5 мг/дм³ (ИЭ РУ 1-6 ЗАЭС). При отклонении концентрации водорода предусмотрены действия по ее корректировке и/или снижению мощности РУ. Максимальным эксплуатационным пределом, превышение которого требует немедленной разгрузки и перевода РУ в режим «горячий останов», является концентрация водорода более 9,0 мг/дм³ (п. 5.1.2.6 ТООБ ЗАЭС-5). При значениях концентрации водорода в диапазоне 5,4 – 9,0 мг/дм³ допустима эксплуатация РУ на номинальной мощности в течение 24 ч, далее следует снизить мощность до 50 % от номинальной, и допустима эксплуатация еще 24 ч. За это время необходимо устранить причину отклонения параметра и вернуть его в допустимый диапазон значений. В случае, если параметр остается за пределами допустимого значения в диапазоне 5,4 – 9,0 мг/дм³ – предписывается перевести РУ в режим «горячий останов» (п. 5.1.2.6 ТООБ ЗАЭС-5). Таким образом, проектными документами разрешается работа реактора в течение двух суток с максимальной концентрацией водорода в теплоносителе 1-го контура до 9,0 мг/дм³.

В реакторном контуре ВВЭР выделение газообразного водорода и кислорода происходит главным образом в парогазовом объеме системы КД. В КД происходит парообразование теплоносителя, при котором часть растворенного в теплоносителе водорода переходит в парогазовый объем (КД), а из него – в подводящие трубопроводы ИПУ КД. В подводящих трубопроводах ИПУ КД происходит конденсация водяного пара, конденсат самотеком с подъемных участков (а с отпусковых – через специальную дренажную линию) сливается об-

ратно в компенсатор, а в трубопроводах ИПУ КД, расположенных выше КД, накапливаются неконденсирующиеся газы. При постоянном давлении устанавливается равновесное состояние по массообмену между парогазовым объемом и теплоносителем. С увеличением давления увеличивается масса растворенных в теплоносителе газов, а при понижении давления в контуре – увеличивается концентрация газообразной фазы.

В *нормальных режимах* эксплуатации при обеспечении и контроле установленных норм по концентрации водорода и полном подавлении радиолитического кислорода *взрывоопасность отсутствует*. Это подтверждается многолетним опытом эксплуатации ВВЭР.

При *плановых испытаниях с открытием ИПУ КД* на номинальных режимах или при проектных авариях с открытием ИПУ КД водородсодержащий парогазовый объем КД поступает в ББ, а в случае увеличения давления в нем выше 0,8 МПа (разрыв мембраны ББ) – далее в ГО РУ. В этом случае взрывоопасность водорода при прочих равных условиях увеличивается в основном из-за:

дополнительного выделения газообразного водорода из теплоносителя, вызванного резким падением давления;

смешения ВПВС с воздухом гермооболочки, содержащей кислород (катализатор детонации и дефлаграции водорода).

Актуальность вопросов повышения водородной взрывозащиты особенно обострилась после недавних событий на АЭС Фукусима-1, так как именно парогазовые взрывы явились одной из основных причин разрушения ЗББ и катастрофических радиоактивных выбросов в окружающую среду.

В качестве дополнительного мероприятия по повышению водородной взрывозащиты были разработаны решения о монтаже ЛПУВ из объема ИПУ КД для снижения вероятности образования критической массы газообразного водорода [2, 3].

Анализ конструкторской документации РУ ВВЭР-1000, разработанной ОКБ «Гидропресс», показал, что в этой документации не предусмотрены требования относительно наличия на подводных трубопроводах ИПУ КД системы удаления водорода. Это в значительной степени связано с типом водно-химического режима 1-го контура на ВВЭР-1000, который является мягко регулируемым в части концентрации водорода в теплоносителе 1-го контура. Поэтому в отчетах ЮУАЭС и ЗАЭС [4, 5] был проведен дополнительный анализ целесообразности монтажа ЛПУВ ИПУ КД, основанный на опыте эксплуатации ВВЭР и конструктивных особенностях ИПУ КД, а также необходимых и достаточных условий взрывоопасности водорода. Обоснование нецелесообразности монтажа ЛПУВ ИПУ КД базируется на следующих основных положениях [4, 5].

1. Из многолетнего опыта эксплуатации в нормальных режимах и при испытаниях ИПУ КД на номинальных параметрах реактора (соответствующих фактически условиям проектных аварий) обеспечена взрывобезопасность водорода.

2. Техническими условиями ИПУ КД «Sempell» допускается степень неплотности 10^{-3} торр·дм³/с и протечки до 250 кг/ч, что является достаточными условиями непрерывного удаления из парогазового объема КД водорода, обладающего высокими параметрами текучести и диффузии даже через мельчайшие неплотности. Кроме того, в нормальных условиях эксплуатации удаление водорода из реакторного контура осуществляется системами спецводоочистки, дожигания водорода и очистки технологических сдувок.

3. Любая дополнительная трубопроводная система, подключаемая к системе 1-го контура, увеличивает вероятность возникновения течи 1-го контура и, тем самым, при прочих равных условиях уменьшает достигнутый уровень безопасности.

4. Анализ *необходимых* условий взрывоопасности водорода (без учета радиолиза воды теплоносителя), проведенный в [4, 5], показал:

максимальная масса образующегося водорода при нормальных условиях эксплуатации в объеме теплоносителя, находящегося в КД, составляет 0,45 кг при концентрации водорода 0,0255 мг/дм³, а с учетом подводящих трубопроводов к ИПУ КД – 1,4 кг [4];

при максимально допустимой концентрации водорода 5 мг/кг масса водорода из всего объема теплоносителя реакторного контура (245 т) составляет 1,23 кг [5];

свободный кислород (необходимое условие детонации и дефлаграции водорода) полностью подавляется продуктами распада аммиака и гидразина.

В качестве *достаточных* условий взрывоопасности водорода в ГО при возможном срабатывании ИПУ КД в [4, 5] фактически использовались критические соотношения концентраций водорода – воздуха – водяного пара (диаграмма Шапиро - Моффетте), а также результаты расчетного моделирования ВАБ 2-го уровня энергоблока № 1 ЮУАЭС, согласно которым мгновенная детонация водорода, приводящая к разрушению ГО, возможна при маловероятных событиях сконцентрированности водорода массой не менее 22,8 кг в локальном объеме.

На основе анализа полученных необходимых условий и принятых достаточных условий детонации/дефлаграции ВПВС в [4, 5] обоснована взрывобезопасность при нормальных режимах эксплуатации и при открытии ИПУ КД (проектные режимы).

Однако обоснования выполнения условий взрывобезопасности водорода в [4, 5] (даже в пренебрежении отдельными противоречивыми результатами) являются недостаточно аргументированными по следующим основным причинам.

1. В общем случае диаграмма Шапиро - Моффетте как основной критерий достаточных условий детонации/дефлаграции водорода обоснована для квазиравновесных процессов (при относительно «медленном» изменении теплогидродинамических параметров среды) и начальных давлений, близких к атмосферному. При открытии ИПУ КД теплогидродинамические процессы являются априори неравновесными: давление среды в парогазовом объеме системы КД за относительно короткие промежутки времени падает от 18 – 19 МПа (условия открытия ИПУ КД) до уровня давления в ГО, а градиенты давления (температур) достигают сотен атмосфер (градусов) в секунду. Поэтому применение критериев диаграммы Шапиро - Моффетте к таким условиям требует дополнительного обоснования и экспериментального подтверждения.

2. Возникновение и развитие дефлаграционных/детонационных процессов, имеющих термохимическую природу, зависит в основном от:

концентрации и теплофизических свойств компонентов среды;

начального термодинамического состояния;

внешних условий, определяющих развитие механизмов горения и детонации.

Процессы дефлаграции и детонации отличаются по максимальному (пиковому) значению и продолжительности импульса возмущения давления, по направлению фронта возмущения давления и отраженной волны возмущения, а также по другим определяющим параметрам. Характерный пример детонационной и дефлаграционной волны возмущения приведен на рис. 1 [6].

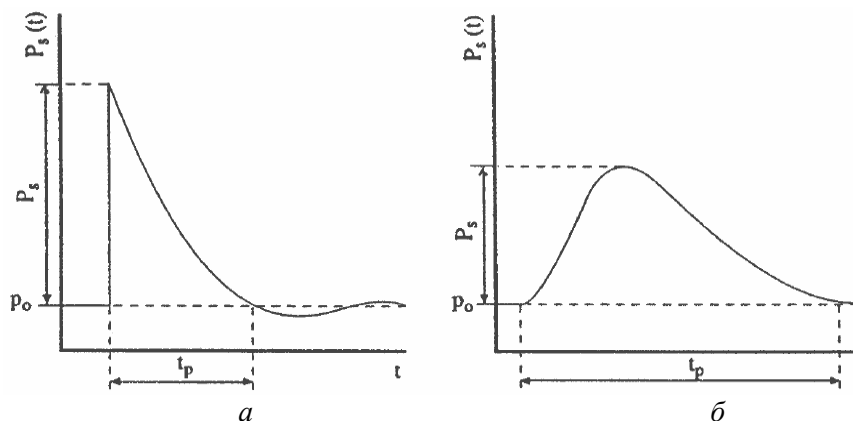


Рис. 1. Характерная форма давления в течение детонационной, ударной волны (а) и дефлаграционной волны (б): p_0 – начальное давление; P_s – пик давления; t_p – продолжительность положительной фазы.

Для взрывобезопасности ВПВС наиболее значимыми механизмами горения являются FA-механизм (“Flame Acceleration”) и DDT-механизм (“Deflagration-to-detonation transition”), имеющие разные условия возникновения и последствия.

Пиковые значения давления P_{max} и температур T_{max} в процессах детонации/горения ВПВС обычно определяются по полумпирическим зависимостям вида [6]

$$T_{max} = f_1(C_k, T_0, Q_k); \quad P_{max} = f_2(P_0, T_0, T_{max}),$$

где C_k , Q_k – концентрация и удельные внутренние теплоэнергетические характеристики компонентов ВПВС; P_0 , T_0 – начальные значения давления и температуры среды.

При этом для оценки P_{max} обычно (не вполне корректно) используется уравнение состояния идеального газа, которое обосновано только для условий относительно низких значений давления и температур (нехарактерных для пиковых значений детонационных/дефлаграционных волн).

Таким образом, приведенные факторы определяют химические критерии диаграммы Шапиро - Моффетте как необходимые, но недостаточные условия дефлаграции/детонации ВПВС. При проектных авариях с течами 1-го контура (доминантными для безопасности ВВЭР) критерии Шапиро - Моффетте в общем случае необоснованны для начальных стадий выброса теплоносителя, характеризующихся значительными градиентами теплогидродинамических параметров и локальной неравновесностью среды. Вместе с тем именно начальные стадии проектных аварий являются доминантными для взрывобезопасности ВПВС, так как в этих условиях возможна относительно высокая локальная концентрация водорода и кислорода. На более поздних стадиях газообразный водород быстро заполняет весь объем контейнента (в силу повышенной летучести и диффузионности) и локальная концентрация водорода резко уменьшается.

По опыту большой аварии на АЭС Фукусима-1 взрывы ВПВС произошли на блоках № 1 и 3 именно после сброса давления в контейненте.

Положения [4, 5] о том, что максимально возможная масса водорода в теплоносителе при нормальных условиях значительно меньше «критической» для локальной взрывоопасности (22,8 кг – по результатам обоснований ВАБ 2-го уровня малосерийного энергоблока ВВЭР-1000), являются недостаточно аргументированными, так как для взрывоопасности водорода определяющим является не его общая масса, а локальная концентрация, которая на начальных стадиях проектных аварий (см. выше) может быть значимой и при более низких значениях массы водорода.

3. В обоснованиях [4, 5] фактически не рассмотрен консервативный анализ всех возможных неблагоприятных для взрывобезопасности (ВПВС) сценариев развития процессов. Ссылки на «фантастичность» или нереальность таких сценариев основываются на их относительно малой вероятности возникновения. Однако последние катастрофические события на АЭС Фукусима-1 показали недопустимость такого традиционного подхода исключения из рассмотрения маловероятных событий. Так, согласно отчетам по анализу безопасности серийных энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 вероятность исходного события аварии с полной потерей электроснабжения (аналогичных ситуации на АЭС Фукусима-1) составляет порядка 10^{-7} 1/(реактор·год), что на несколько порядков меньше оценок суммарной частоты повреждения активной зоны как одного из основных вероятностных показателей безопасности. Однако необходимость дополнительного глубокого анализа подобных сценариев развития аварийных последовательностей и обоснования организационно-технических мероприятий по управлению и ликвидации последствий таких маловероятных аварий для отечественных энергоблоков с ВВЭР уже ни у кого не вызывает сомнений.

Ниже приведен пример маловероятного, но неблагоприятного для взрывобезопасности водорода сценария при открытии ИПУ КД и отказе на закрытие клапана¹. Такое исходное событие квалифицируется как малая компенсируемая течь 1-го контура (S3 в ВАБ 1-го

¹ Аналогичное исходное событие произошло на энергоблоке № 3 Ровенской АЭС в 2009 г.

уровня). В качестве условий детонации/дефлаграции водорода применяется нижняя допустимая граница объемной концентрации водорода (4 %).

При малой течи 1-го контура в ГО будут наблюдаться следующие параметры (ТРБЭ ЗАЭС-4): температура до 90 °С; давление абсолютное до 0,167 МПа; относительная влажность – парогазовая смесь; время существования режима не более 5 ч; послеаварийная температура 20 – 60 °С; послеаварийное давление абсолютное 0,049 – 0,118 МПа.

Основные консервативные допущения при анализе неблагоприятного сценария следующие:

- 1) в теплоносителе накоплена допустимая для работающего реактора концентрация водорода в диапазоне 2,7 – 9 мг/дм³ (масса 0,916 от 3,052 кг) (таблица);
- 2) технологические системы удаления водорода находятся в отказе;
- 3) протечки водорода через ИПУ КД отсутствуют;
- 4) при срабатывании ИПУ КД, с разрывом мембраны ББ, водород попадает в помещения гермооболочки²;
- 5) работа спринклерной системы уменьшает объемную концентрацию пара в помещениях гермооболочки до значений менее 50 %;
- 6) весь выделившийся водород локализуется в помещении ББ;
- 7) ВПВС рассматривается как идеальный газ.

Оценочный расчет проводится при следующих исходных данных (условия в помещениях ГО соответствуют условиям малой течи 1-го контура):

свободный объем:

помещения ББ $V = 250,7 \text{ м}^3$;

помещения ББ и смежных помещений (ГА304, ГА502/1, ГА503, ГА504/2, ГА504/3, ГА507/2, ГА603/1, ГА603/3, ГА604) $V = 3081,0 \text{ м}^3$;

всего ГО $V = 61\ 645,9 \text{ м}^3$;

температура атмосферы ГО $T = 90 \text{ (363) } ^\circ\text{C (K)}$;

давление в ГО $P_{ГО} = 49 - 167 \text{ кПа}$;

масса водорода в ГО:

при концентрации водорода в теплоносителе 2,7 мг/дм³ $m_g = 0,916 \text{ кг}$;

при концентрации водорода в теплоносителе 5,4 мг/дм³ $m_g = 1,831 \text{ кг}$;

при концентрации водорода в теплоносителе 9,0 мг/дм³ $m_g = 3,052 \text{ кг}$;

газовая постоянная для водорода $R_g = 4124,5 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$.

**Оценка массы водорода при различных концентрациях
в теплоносителе РУ с ВВЭР-1000/В-320**

Концентрация водорода, мг/дм ³	Масса водорода, кг	Примечание	Источник информации по концентрации водорода
2,7	0,916	Минимальная концентрация, при которой допускается работа реактора на номинальной мощности без ограничений	П. 5.1.2.6 ТОБ ЗАЭС-5
5	1,696	Максимальная концентрация в теплоносителе 1-го контура ЮУАЭС-3	Отчет № ОЧ.0.0039.0125Ц
5,4	1,831	Максимальная концентрация, при которой допускается работа реактора на номинальной мощности без ограничений	П. 5.1.2.6 ТОБ ЗАЭС-5
7	2,374	Максимальная концентрация, при которой допускается работа реактора на номинальной мощности в течение пяти суток	П. 5.1.2.6 ТОБ ЗАЭС-5
9	3,052	Максимальная концентрация, при которой допускается работа реактора в течение двух суток	П. 5.1.2.6 ТОБ ЗАЭС-5

² Событие с частотой порядка 10⁻⁴ 1/год (ВАБ ЗАЭС-5).

Доля водорода в зависимости от парциального давления водорода P_g и давления в ГО $P_{ГО}$, которое меняется в процессе работы спринклерной системы, составит

$$\psi = (P_g/P_{ГО}) \cdot 100 \%.$$

Результаты расчетов приведены на рис. 2.

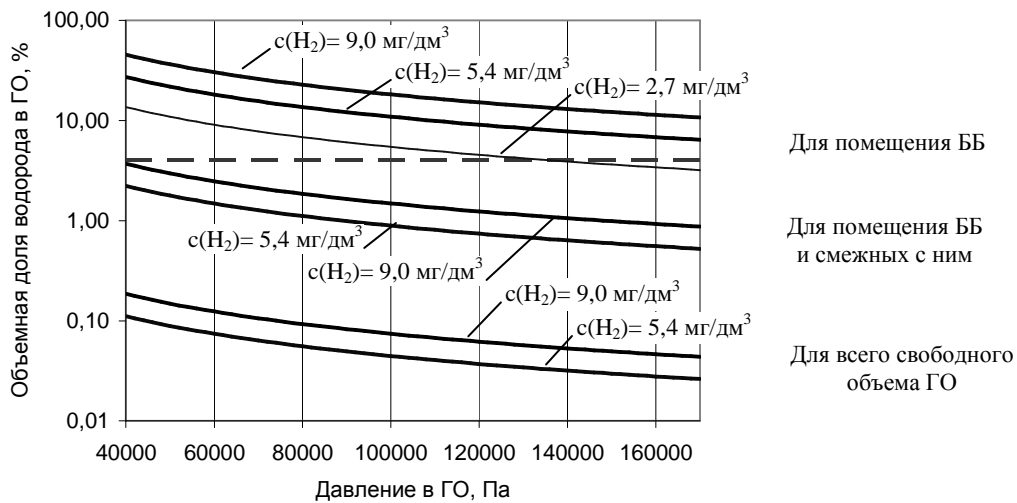


Рис. 2. Объемная доля водорода в помещениях ГО при изменении давления в ГО и различных исходных концентрациях водорода в теплоносителе 1-го контура РУ с ВВЭР-1000/В-320 (при 4 % и выше – взрывоопасная концентрация).

Из проведенных расчетов (с учетом консервативного сценария и принятых допущений) следует, что если весь накопленный водород локализуется в помещении ББ, то реализуются условия для дефлаграции/детонации водорода.

Рассмотренный сценарий является маловероятным событием и относится к запроектным авариям (количество отказов превышает принцип единичного отказа для проектных аварий).

Выводы

1. В проектных режимах (нормальные условия эксплуатации и возможные проектные аварии) взрывобезопасность водорода достаточно обеспечена и отсутствует необходимость дополнительных мероприятий (в том числе монтажа ЛПУВ из ИПУ КД).

2. Основным аргументом взрывобезопасности при квалификации ИПУ КД в проектных авариях (без дополнительной модернизации) является многолетний опыт эксплуатации и испытаний на номинальных параметрах (метод экспериментальной квалификации). Однако для реализации расчетных методов квалификации необходимы дополнительные обоснования достаточных условий детонации/дефлаграции водорода при проектных авариях с течами реакторного контура.

3. Необходим дополнительный детерминистский и вероятностный анализ взрывобезопасности при запроектных авариях с течами реакторного контура (в том числе и относительно маловероятных сценариев развития аварийных процессов) для обоснований мероприятий по управлению запроектными авариями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скалозубов В. И., Ключников А. А., Колыханов В. Н. Основы управления запроектными авариями с потерей теплоносителя на АЭС с ВВЭР. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2010. – 400 с.
2. Референц-лист ИПУ КД типа VS99/66 на АЭС с ВВЭР.
3. Отчет о выполнении мероприятия № 30131 по повышению безопасности и надежности энергоблока № 2 ОП ХАЭС «Обеспечить отвод водорода из оборудования первого контура при расхолаживании и «холодном останове».

4. Замена ИПУ КД на энергоблоках 5 и 6 Запорожской АЭС. – Проект TACIS U2.03/96. – Приложение Ж: Анализ возможности работы ИПУ КД на азоте, водороде и насыщенном паре.
5. Анализ безопасности линии постоянной сдувки из подводных трубопроводов ИПК ИПУ КД производства “Sempell”. – ОП ЮУАЭС, 2011.
6. Вероятностный анализ безопасности 2-го уровня энергоблока № 5 ЗАЭС. Итоговый отчет Запорожской АЭС. – № 21.5.59.ОБ.04.5. – Энергодар, 2009.

В. И. Скалозубов, Ю. О. Комаров, В. М. Ващенко, С. С. Яровой

СТАНИ ТА УМОВИ ВИБУХОБЕЗПЕКИ В ПРОЕКТНИХ РЕЖИМАХ АЕС ІЗ ВВЕР

Розглянуто питання сучасного стану вибухобезпеки АЕС із ВВЕР у режимах нормальної експлуатації та при можливих проектних аваріях. Показано необхідність удосконалення методичного забезпечення при моделюванні та аналізі умов детонації й дефлаграції водню в проектних режимах із розгерметизацією реакторного контуру.

Ключові слова: захисний бар'єр безпеки, система безпеки, барботаажний бак, компенсатор тиску, імпульсно-запобіжний пристрій, гермооб'єм, реакторна установка, лінія постійного видалення водню, водневовмісна пароповітряна суміш.

V. I. Skalozubov, Ju. O. Komarov, V. M. Vashchenko, S. S. Yarovoy

EXPLOSION SAFETY CONDITIONS AT DESIGN MODES OF NPPS WITH WWER

Matters of a current state of explosion safety of NPPs with WWER at normal operation modes and at possible design basis accidents are considered in this paper. It is demonstrated necessity to improve methods for modelling and analysing of conditions of a hydrogen detonation and deflagration at design basis modes with a reactor contour depressurization.

Keywords: safety protective barrier, safety system, bubbler, pressurizer, pulse-protective device, containment, reactor facility, line of continuous dehydrogenization, hydrogenous steam-air mixture.

Поступила в редакцію 29.09.11