

Ш.В. ПОГОСЯН, Ц.А. МАЛАКЯН, А.М. АМИРДЖАНЫ, А.А. ГЕВОРКЯН

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СЦЕНАРИЕВ, ПОТЕНЦИАЛЬНО ПРИВОДЯЩИХ К ХОЛОДНОЙ ОПРЕССОВКЕ КОРПУСА РЕАКТОРА ВВЭР-440 ПРИ РАБОТЕ ЭНЕРГОБЛОКА НА МОЩНОСТИ И ГОРЯЧЕМ ОСТАНОВЕ

Выявлены возможные аварийные сценарии, при которых возникает угроза достижения параметров первого контура значений, соответствующих кривой холодной опрессовки корпуса реактора при работе энергоблока на мощности и нахождении реакторной установки в режиме «горячего останова». Для выявления конкретных аварийных сценариев, потенциально приводящих к холодной опрессовке корпуса реактора, разработан и применен метод поэтапного анализа с использованием вероятностного анализа путем комбинации методов деревьев событий и деревьев отказов.

Ключевые слова: корпус реактора, холодная опрессовка, работа на мощности, вероятностный анализ, аварийный сценарий, авария, исходное событие.

Проблема целостности корпуса реактора остается актуальной и должна поддерживаться в течение всего срока эксплуатации, так как не существует реальных средств, которые могли бы смягчить последствия катастрофического разрушения корпуса реактора. Целостность корпуса реактора зависит от взаимоотношения количества прочности, заложенной проектировщиком и обусловленной свойствами материала, включая фактор старения, и воздействующей нагрузки, которая может возникнуть в течение эксплуатации реакторной установки. В процессе эксплуатации свойства материала подвержены деградации за счет облучения нейтронным потоком, усталости, старению и т.д., снижающими сопротивление корпуса относительно такого специфического явления, как холодная опрессовка. Характерной особенностью холодной опрессовки является относительно низкая температура теплоносителя при высоком давлении в первом контуре АЭС, что может привести к нарушению целостности (разрушению) корпуса реактора. Критическое взаимоотношение температуры и давления первого контура для реактора ВВЭР-440, которое приводит к возникновению холодной опрессовки реактора, представлено на рис.1 [1,2].

На основе вышесказанного возникает необходимость создания эффективных средств защиты реакторной установки от холодной опрессовки. Для решения данной задачи необходимо выявить аварийные сценарии, способные привести к достижению параметров первого контура значений кривой холодной опрессовки, и произвести их детерминистический анализ. Анализ международного опыта в данной области показывает, что общепринятый подход к выявлению аварийных сценариев основан на детерминистических суждениях с применением консервативных предположений о возможности развития аварий [2].

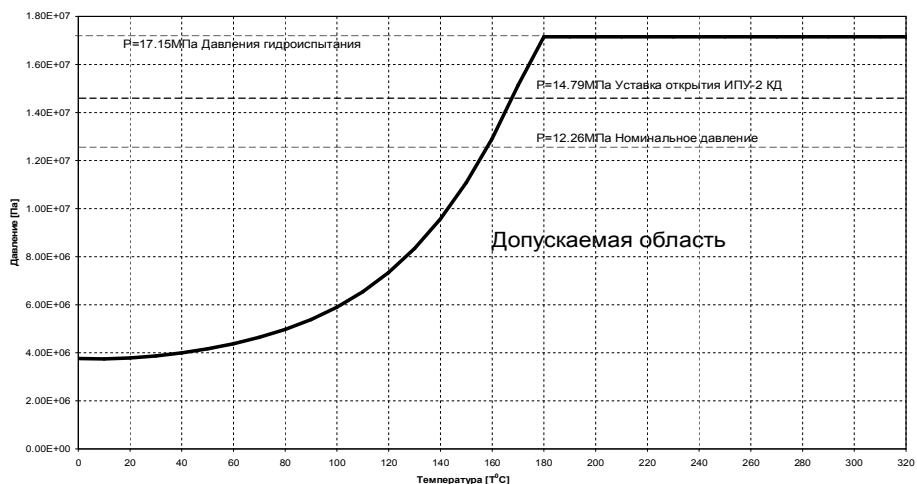


Рис 1. Кривая значений температуры теплоносителя и давления первого контура, соответствующих наступлению холодной опрессовки реактора ВВЭР-440

Исследование результатов подобных анализов, проведенных в странах, эксплуатирующих реакторы ВВЭР-440 (Россия, Финляндия, Болгария, Словакия, Украина, Венгрия и т.д.), позволило выявить следующие недостатки применения вышеуказанного подхода:

1. Не обоснована полнота списка выявленных аварийных сценариев, применяемых при разработке систем защиты реактора от холодной опрессовки. Этот недостаток является одним из важнейших замечаний надзорных органов стран, эксплуатирующих реакторы ВВЭР-440, и специалистов МАГАТЭ (VVER Regulators Forum, WG on Regulatory use of PSA, Vienna, Austria, 11-13 December 2006). Например, подобный анализ для АЭС Богунице 1-4 (Словакия) и АЭС Ловииса (Финляндия) с энергоблоками ВВЭР-440 не выявил такие аварии, как обесточивание блока и невключение ДГ 1-4 в горячем состоянии, несанкционированное подключение неработающей петли в холодном состоянии, ошибки оператора при гидроиспытаниях и т.д. [2].

2. Выявленные аварийные сценарии содержат большое количество предположений об отказах оборудования, что приводит к очень малой вероятности их одновременного возникновения, а это, в свою очередь, вносит большой консерватизм в результаты анализа. Вследствие этого возможно возникновение вопроса о нарушении пределов безопасности относительно холодной опрессовки реактора при тех или иных аварийных сценариях, что может привести к запрету на дальнейшую эксплуатацию рассматриваемой АЭС.

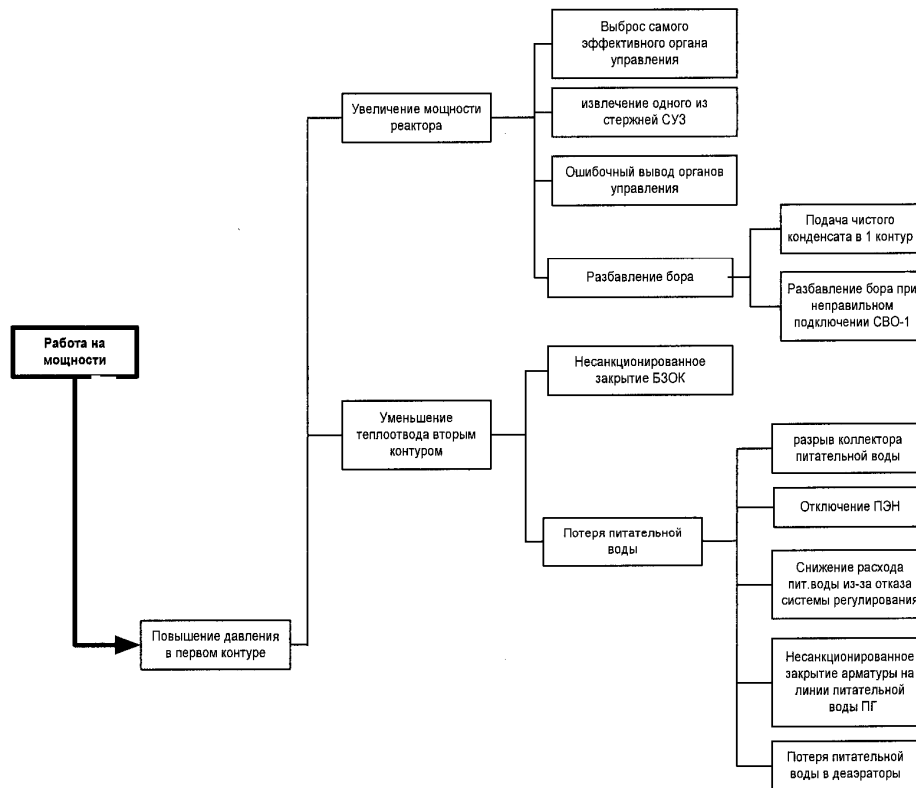


Рис 2. Фрагмент логической диаграммы исходных событий, приводящих к повышению давления при работе энергоблока на мощности

Во избежание приведенных недостатков и для более реалистической оценки нами был разработан поэтапный метод анализа аварийных сценариев, приводящих к холодной опрессовке реактора, с применением комбинации методов логических диаграмм (рис. 2) и вероятностного анализа. Используя предложенный метод, проведен анализ по выявлению возможных аварийных сценариев, при которых возникает угроза достижения параметрами первого контура значений, соответствующих кривой холодной опрессовки корпуса реактора для режимов работы энергоблока на мощности и нахождения реакторной установки в режиме «горячего останова». В качестве рассматриваемого объекта выбран 2-й энергоблок Армянской АЭС с реактором ВВЭР-440/В-270, разработанным на основе реактора ВВЭР-440/В-230, с учетом сейсмической активности площадки.

Для достижения вышеуказанных целей было предусмотрено проведение следующих двух основных этапов работы, согласно предложенному методу:

- выявление аварий, при которых возникает угроза холодной опрессовки;

- определение конкретных сценариев развития аварий (аварийных сценариев), приводящих к холодной опрессовке.

На первом этапе проведено выявление исходных событий, при которых возникает угроза холодной опрессовки. Для выбора исходных событий, которые потенциально могут привести к холодной опрессовке, был использован метод логических диаграмм [3]. Метод логических диаграмм является дедуктивным - от общего к частному. Принцип метода состоит в последовательном построении графов, шаг за шагом выявляющих потенциальные угрозы (возможные исходные события), которые потенциально могут привести к холодной опрессовке (рис. 2). Для выбора исходных событий были рассмотрены два фактора, которые могут привести к холодной опрессовке:

- повышение давления в первом контуре;
- снижение температуры теплоносителя в первом контуре.

Вышеприведенные факторы были исследованы независимо друг от друга, что позволило изучить наиболее обширный спектр исходных событий и обосновать полноту списка рассматриваемых исходных событий. На основе вышесказанного были разработаны два графа: на вершине первого стоит повышение давления в первом контуре, на вершине второго - понижение температуры теплоносителя. Возникновение того или иного исходного события рассматривалось в пределах следующих режимов энергоблока:

- Работа на мощности:

Работа энергоблока на мощности в диапазоне $N=(1...100\%)N_{ном}$ с учетом работы как с одной, так и с двумя работающими турбинами, согласно технологическому регламенту энергоблока №2 ААЭС [4]. В рамках проведенного анализа режим работы энергоблока на мощности включает процесс набора мощности от МКУ и снижение мощности до перехода на МКУ. Состояние «работа на мощности» характеризуется следующими основными параметрами 1-го контура: $T_{вх}=269^{\circ}\text{C}$, $T_{вых}=300^{\circ}\text{C}$, $P_{1к}=12,5\pm 0,2 \text{ МПа}$.

- Горячий останов:

Режим горячего останова, согласно технологическому регламенту энергоблока №2 ААЭС [4], включает в себя нахождение реактора в критическом состоянии на мощности не более 1% от номинальной или нахождение в подкритическом состоянии. Состояние «горячий останов» характеризуется следующими основными параметрами 1-го контура: $T_{1к}= 245...260^{\circ}\text{C}$, $P_{1к}=12,5\pm 0,2 \text{ МПа}$.

После выбора обширного спектра исходных событий, приводящих либо к повышению давления в первом контуре, либо к понижению температуры теплоносителя, был проведен отсев исходных событий, не приводящих к холодной опрессовке. Отсев исходных событий был осуществлен на основе первичной оценки потенциальной опасности достижения параметров первого контура значений, соответствующих холодной опрессовке для каждого рассматриваемого исходного события. При рассмотрении каждого из исходных событий были учтены возможные комбинации отказов оборудования, которые могут привести к холодной опрессовке. Отсев позволил разработать конечный список рассматриваемых исходных событий.

После составления конечного списка рассматриваемых исходных событий была проведена их группировка. Принципом группировки исходных событий является разбиение на группы тех исходных событий, которые приводят к идентичным последствиям. Репрезентативным исходным событием в группе было выбрано событие, которое приводит к более тяжелым последствиям с точки зрения опасности холодной опрессовки.

На основе проведенной работы первого этапа был составлен конечный список аварий (см. табл. 1, [5]), подлежащих анализу на предмет выявления конкретных аварийных сценариев, приводящих к холодной опрессовке.

Таблица 1

Конечный список аварий на основе сгруппированных исходных событий

№	Авария
1	Несанкционированное включение АПН при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
2	Несанкционированное включение ПН при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
3	Несанкционированное включение нагревателей КД при работе энергоблока на мощности
4	Обесточивание блока и невключение ДГ 1-4 при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
5	Разрыв ГПК при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
6	Разрыв паропроводов при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
7	Течи из первого контура во второй контур при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
8	Отказ на открытие паросбросной арматуры (БРУ-А и БРУ-К) при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
9	Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 200 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
10	Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 100 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
11	Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 32 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова
12	Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 18 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова

На втором этапе проведено определение конкретных сценариев развития аварий (аварийных сценариев), приводящих к холодной опрессовке, на основе списка аварий, представленного в табл. 1. Для определения возможных сценариев развития аварий был использован метод “дерева событий” [6,7] для каждой аварии, выявленной при работе над первым этапом анализа (на рис.3 приведено типичное “дерево событий”, разработанное для аварии с потерей теплоносителя). В верхней части дерева событий показаны системы, необходимые для ликвидации рассматриваемой аварии (в данном случае для аварии с потерей теплоносителя необходима работоспособность систем САОЗ, спринклерной системы, бака Б-8/2 и.т.д.). Знак «+» означает возможность данной системы выполнять возложенную на нее функцию, знак «-» - отказ системы. Построение деревьев событий позволяет определить возможные пути

развития данной аварии (аварийные сценарии) при отказе той или иной системы, участвующей в процедуре ликвидации аварии (таким образом, на рис. 3 представлены 5 аварийных сценариев, каждый из которых имеет определенную вероятность возникновения).

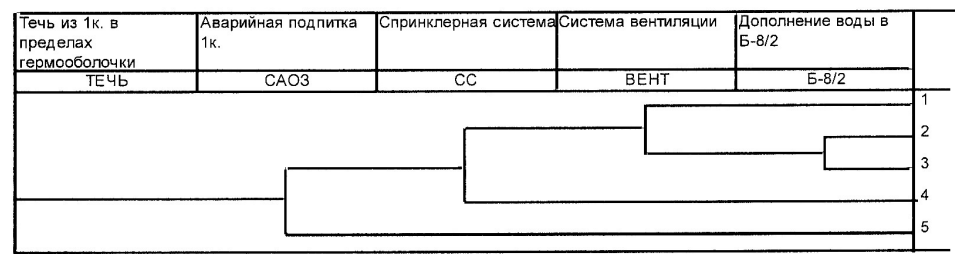


Рис. 3. Дерево событий для аварии с потерей теплоносителя

После определения возможных путей развития аварий возникла необходимость определения вероятности возникновения того или иного сценария, имеющего место в разработанных деревьях событий. Для решения этой задачи был использован метод деревьев отказов [8], позволяющий определить вероятность отказа данной системы путем построения модели ее надежности (на рис.4 приведено дерево отказов, разработанное для системы защиты от превышения давления второго контура - БРУ-А на ТГ-3).

Верхний блок дерева отказов отражает нежелательное событие – отказ системы, взятый из соответствующего дерева событий (на рис. 4 нежелательным событием является отказ системы БРУА-3 открыться при повышении давления в ГПК). Далее представлены возможные причины возникновения нежелательного события с использованием соответствующих логических операторов:

$\cup$ - или, $\cap$ - и, $\triangle$ - трансфер на другое дерево отказов, $\triangleleft$ - отказ оборудования с присвоенной ему вероятностью отказов. Вероятность отказа для конкретного оборудования определяется путем обработки статистических данных по отказу однотипного оборудования на рассматриваемой АЭС или других аналогичных энергоблоках [9-11]. Рассчитанная вероятность данного нежелательного события дерева отказов присваивается соответственному блоку в деревьях событий (в основу расчета вероятности нежелательного события заложена булева алгебра).

При разработке деревьев событий и отказов были использованы следующие предположения:

- действия оператора, направленные на смягчение/предотвращение влияния холодной опрессовки реактора, не были рассмотрены, так как: а) на Армянской АЭС нет конкретной подробной процедуры действий оператора при возникновении опасности холодной опрессовки, что может в значительной мере повысить вероятность ошибки оператора; б) обычно авария с возникновением холодной опрессовки является быстротечным процессом, что ограничивает возможности оператора

провести диагностику возникшей ситуации и принять соответствующее решение;

- действия оператора, направленные на восстановление работоспособности оборудования в случае отказа, не были рассмотрены по причине “б”) (см. первое предположение).

Разработка моделей надежности систем (деревьев отказов) и деревьев событий была выполнена с помощью программного кода Risk Spectrum Professional 2.0 (Швеция) [9,10,11], обеспечивающего интерфейс для разработки, связи и расчета комбинированных моделей деревьев событий и отказов.

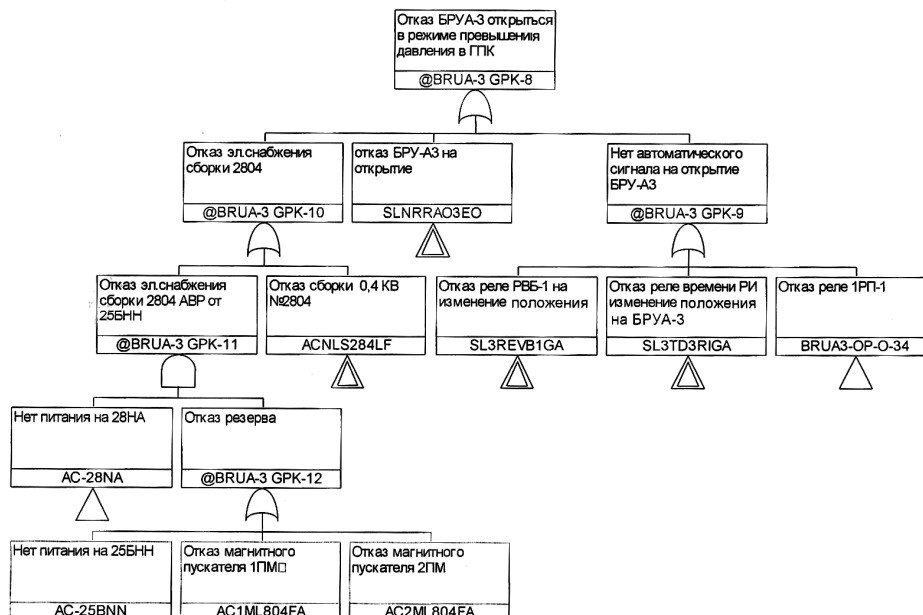


Рис 4. Дерево отказов – модель надежности системы сброса пара в атмосферу при повышении давления в ГПК

Существует ряд программных кодов в области применения методов вероятностного анализа безопасности, таких как Risk Spectrum Professional (используется в России, Венгрии, Чехии, Словакии и т.д.), SAPHIRE (используется в США, Испании, Болгарии и т.д.), FINPSA (Финляндия) и т.д (см. материалы конференции VVER Regulators Forum, WG on Regulatory use of PSA, Vienna, Austria, 11-13 December 2006). Программный код Risk Spectrum Professional 2.0 является наиболее распространенным ввиду ряда преимуществ по сравнению с другими кодами (автоматическое моделирование отказов по общей причине в моделях надежности систем, доступный графический интерфейс, возможность моделирования постулируемых событий и т.д.) [12]. Используя расчетный блок программного кода Risk Spectrum Professional, был проведен расчет комбинированной математической модели и определены

вероятности возникновения аварийных сценариев. Результаты расчета позволили определить конкретные сценарии развития аварий, наиболее опасные с точки зрения холодной опрессовки реактора, с применением соответствующего вероятностного критерия. В качестве вероятностного критерия отбора аварийных сценариев было применено значение $1 \cdot 10^{-7}$, рекомендованное и применяемое в международной практике выбора исходных событий как приемлемое для повреждения активной зоны реактора [2,3,13].

В результате проведенных расчетов были определены конкретные сценарии развития аварий, наиболее опасные с точки зрения холодной опрессовки реактора и удовлетворяющие примененному вероятностному критерию отсева (частота возникновения сценария $F_{сц.} > 1 \cdot 10^{-7}$). Результаты проведенных расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Список аварийных сценариев, потенциально приводящих к холодной опрессовке реактора ВВЭР-440 при работе на мощности и нахождении в режиме горячего останова

№	Исходное событие	Частота (1/год)
1	“Несанкционированное включение АПН при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры БРУ-А после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре” + “Ошибка оператора отключить насос АПН по сигналу повышения уровня в КД”	$2,29 \cdot 10^{-6}$
2	“Несанкционированное включение ПН при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры БРУ-А после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре” + “Отказ автоматики сигнала « $\uparrow N_{КД} = +300 \text{ мм}$ » и ошибка оператора отключить насос ПН по сигналу повышения уровня в КД”	$4,84 \cdot 10^{-5}$
3	Несанкционированное включение нагревателей КД при работе энергоблока на мощности	$4,35 \cdot 10^{-3}$
4	“Обесточивание блока и не включение ДГ 1-4 при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры БРУ-А после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре”	$7,19 \cdot 10^{-7}$
5	“Разрыв ГПК при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие 2-х из 7 быстродействующих запорно-отсечных клапанов по сигналу снижения уровня в полусекции ГПК до 30 кг/см^2 ”	$1,55 \cdot 10^{-6}$

1	2	3
6	“Разрыв паропроводов при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие 2-х из 7 быстродействующих запорно-отсечных клапанов по сигналу снижения уровня в полусекции ГПК до 30 кг/см ² ”	$2,79 \cdot 10^{-7}$
7	“Течи из первого контура во второй контур при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры ИПУ ПГ после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре” + “Ошибка оператора отключить насос АПН по сигналу повышения уровня в КД после успешной изоляции течи путем закрытия главных запорных задвижек на поврежденной петле”	$4,01 \cdot 10^{-6}$
8	Отказ на открытие паросбросной арматуры (БРУ-А и БРУ-К) при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова	$7,25 \cdot 10^{-4}$
9	“Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 200 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры БРУ-А после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре”	$1,74 \cdot 10^{-7}$
10	“Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 200 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Ошибка оператора отключить насос АПН по сигналу повышения уровня в КД после успешной изоляции течи путем закрытия главных запорных задвижек на поврежденной петле ”	$4,54 \cdot 10^{-7}$
11	“Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 100 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры БРУ-А после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре” + “Ошибка оператора отключить насос АПН по сигналу повышения уровня в КД после успешной изоляции течи путем закрытия главных запорных задвижек на поврежденной петле”	$1,65 \cdot 10^{-7}$
12	“Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 32 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры БРУ-А после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре” + “Ошибка оператора отключить насос АПН по сигналу повышения уровня в КД после успешной изоляции течи путем закрытия главных запорных задвижек на поврежденной петле”	$4,19 \cdot 10^{-6}$
13	“Разрывы трубопровода эквивалентным диаметром 18 мм при нахождении энергоблока в состоянии горячего останова” + “Отказ на закрытие паросбросной арматуры БРУ-А после выполнения функции защиты от превышения давления во втором контуре” + “Ошибка оператора отключить насос АПН по сигналу повышения уровня в КД после успешной изоляции течи путем закрытия главных запорных задвижек на поврежденной петле ”	$6,32 \cdot 10^{-5}$

Таким образом, учитывая недостатки общепринятого подхода к выявлению аварийных сценариев, в качестве основы для разработки средств защиты от холодной опрессовки разработан поэтапный метод анализа аварийных сценариев с применением комбинации методов логических диаграмм и вероятностного анализа.

С использованием данного метода обоснована полнота списка аварийных сценариев, потенциально приводящих к холодной опрессовке и удовлетворяющих вероятностному критерию [2,3,13]. В частности, использование предложенного поэтапного метода позволило отсеять ряд аварийных сценариев с пренебрежительно малой вероятностью, которые учитывались в ранее проведенных исследованиях при обосновании безопасности с точки зрения холодной опрессовки (например, разрыв ГПК с отказом БЗОК и обесточением АЭС), и реалистически оценить безопасность относительно холодной опрессовки реактора.

Результаты, приведенные в данной статье, планируется использовать в качестве основы для проектирования автоматизированных систем и оптимизации существующих средств защиты от холодной опрессовки на АЭС с реакторами типа ВВЭР, в частности, на Армянской АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Установка реакторная В-270, Расчет прочности, Сопротивление хрупкому разрушению корпуса реактора. – М.: ОКБ «Гидропресс», 2000. – С. 24-26.
2. Guidelines on pressurized thermal shock analysis for WWER Nuclear Power Plant // IAEA-EBP-WWER-08 (Rev 1). - Austria, January, 2006. - P. 9-14.
3. **Ланкин М.Ю.** Отбор и группировка исходных событий в вероятностном анализе безопасности: Техническое совещание по вопросам ВАБ. – Ереван, 2003. – С.27-32.
4. Технологический регламент эксплуатации энергоблока №2 Армянской атомной электростанции с реактором ВВЭР-440(В-270) / Республика Армения, Министерство Энергетики и топлива, Армянская АЭС, 1995. – С. 45,72-75.
5. **Амирджанян А., Погосян Ш., Малакян Ц., Оганесян Л.** Исследование аварийных последовательностей, потенциально приводящих к холодной опрессовке корпуса реактора для АЭС ВВЭР-440 // Сборник материалов годичной научной конференции ГИУА. Том 1. - Ереван, 2006. - С. 181-185.
6. “Procedure Guides for a Probabilistic Risk Assessment”, NUREG/CR-6572, Brookhaven National Laboratory. – 2005. - P. 3-20-3-32.
7. 50-P-4 «Procedure For Conducting Probabilistic Safety Assessment Of Nuclear Power Plants (Level 1)» // IAEA, Safety Series № 50-P-4. - Vienna, 1992. - P. 39-59.
8. NUREG-0492, Fault Tree Handbook, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C. 1982. - С. V-1-V-8.
9. Risk Spectrum Professional, User Manual, RELCON, 2003. - P. 51-63.
10. Risk Spectrum Professional, Theory Manual, RELCON, 2003. - P. 14-23
11. **Գևորգյան Ա., Պողոսյան Շ.** Հայկական ԱԷԿ-ի առաջին կոնստրուկցիոն արտահոսքի դեպքում ռեակտորի անվտանգ կանգը ապահովող համակարգերի հավանականային վերլուծությունը // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու, Հատոր 1.- Երևան, 2005. - էջ 307-313:
12. **Щевелев В.Н.** Обзор программных кодов для выполнения ВАБ: Техническое совещание по вопросам ВАБ. – Ереван, 2003. – С.43-51.
13. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций, ОПБ-88/97 (ПНАЭ Г-01-011-97). – М.,1997. – С.13, пп.1.2.15.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 22.03.2007.

Շ.Վ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Յ.Հ. ՄԱԼԱՔՅԱՆ, Ա.Մ. ԱՄԻՐՋԱՆՅԱՆ, Ա.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

**ՋՋԷՌ-440 ՌԵԱԿՏՈՐԻ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ ԵՎ ՏԱՔ ՎԻՃԱԿՈՒՄ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ԸՆԹԱՅՔՈՒՄ
ՍԱՌԸ ՓԽՐՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԲԵՐԵԼՈՒ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՄԲ ՎԹԱՐԱՅԻՆ ՍՑԵՆԱՐԵՐԻ
ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Ի հայտ են բերվել՝ ռեակտորի հզորության տակ աշխատանքի և տաք վիճակում գտնվելու ժամանակ հնարավոր այն վթարները, որոնց դեպքում առկա է առաջին կոնտուրի պարամետրերի սառը փխրունության կորին հասնելու վտանգ: Ի հայտ բերված վթարների համար կատարվել է հավանականային վերլուծություն, որտեղ պատահարների և խափանումների ծառերի մեթոդների կիրառմամբ որոշվել են սառը փխրունության հանգեցնող վթարային սցենարները:

Առանցքային բառեր. ռեակտորի իրան, սառը փխրունություն, հզորության տակ աշխատանք, հավանականային վերլուծություն, վթարային սցենար, սկզբնական պատահար:

Sh.V. POGHOSYAN, Ts.H. MALAKYAN, A.M. AMIRJANYAN, A.A. GEVORKYAN

**PROBABILISTIC ANALYSIS OF ACCIDENTAL SCENARIOS POTENTIALLY LEADING TO
COLD OVERPRESSURE FOR WWER-440 TYPE REACTORS DURING POWER OPERATION
AND HOT SHUTDOWN**

Accidents potentially leading to cold overpressure at reactor installation during power operation and hot shutdown are revealed as a result of the performed analysis. The probabilistic analysis is done for identified accidents using combination of event tree and fault tree methods to reflect particular accidental scenarios potentially leading to cold overpressure occurrence.

Keywords: reactor vessel, cold overpressure, power operation, probabilistic analysis, accidental scenario, accident, initiating event.