

УДК 621.039.58

## ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ВАБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЫЯВЛЕННЫХ НА АС НАРУШЕНИЙ

Хижняк С.А., Бредова В.А. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

В статье изложены основные преимущества использования риск-информативных подходов в инспекционной деятельности при оценке нарушений на АС. Приведена информация о деятельности ФБУ «НТЦ ЯРБ» в области применения ВАБ действующих блоков АС для оценки нарушений. Представлена информация о методике, позволяющей создавать инструкции, содержащие формализованную модель ВАБ.

► **Ключевые слова:** атомная станция, вероятностный анализ безопасности, инспекция, риск-информативный подход, нарушение, оценка нарушений.

## APPLICATION OF FORMALIZED MODEL PSA FOR ESTIMATION OF OPERATIONAL EVENTS ON NPP

Khizhnyak S., Bredova V. (SEC NRS)

The article describes the main advantages of the use of risk – informed approaches in inspection activities in estimation of operational events on NPP. The article has a information on the activities of SEC NRS in the application of PSA of NPP units for the assessment of operation events. Presents informations about the method, which allows to create a instructions which contains a formalized models PSA.

► **Key words:** nuclear plan, probabilistic safety analysis, inspection, risk-informed approach, operation event, assessment of operation events.

## Введение

В 1999 г. необходимость разработки ВАБ уровня 1 была отмечена в заявлении о политике Госатомнадзора России «Применение вероятностного анализа безопасности действующих блоков атомных станций» [1]. Спустя двенадцать лет, с учетом накопленного опыта применения ВАБ как в Российской Федерации, так и за рубежом, и в связи с необходимостью выполнения полномасштабных ВАБ-1 и ВАБ-2 для всех видов исходных событий (далее – ИС), включая внешние воздействия природного и техногенного характера, в 2012 г. было опубликовано новое заявление о политике Ростехнадзора по применению ВАБ и риск-информативных методов для АС [2]. В данном заявлении Ростехнадзор, являющийся органом государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии, заявляет о необходимости углубленного и широкого использования ВАБ и риск-информативных методов (методов, основанных на совместном учёте результатов вероятностных и детерминистических исследований) как комплексных инструментов оценки безопасности блоков АС.

Одним из важных направлений использования ВАБ для регулирования безопасности АС является применение его для оценки результатов инспекций Ростехнадзора. Однако приводимая в настоящей статье методика может применяться также и для оценки значимости нарушений, выявленных эксплуатирующей организацией, поэтому дальше по тексту будет идти речь об оценке значимости нарушений, вне зависимости от того, выявлены ли они инспектором или эксплуатирующей организацией.

Вероятностная оценка результатов инспекций сводится к оценке выявленных нарушений и направлена на достижение следующих целей:

- выполнение вероятностной количественной оценки значимости выявленных нарушений с целью их ранжирования по степени влияния на безопасность при эксплуатации блока АС;
- предоставление инспекторам дополнительной информации для планирования программы проведения инспекций.

Вероятностная оценка нарушений на АС позволяет количественно оценить степень влияния нарушения на безопасность блока АС в терминах вероятностных показателей безопасности и определить приоритеты для корректирующих мер в зависимости от этого влияния.

Получаемая в результате вероятностных оценок

нарушений информация позволяет оптимизировать программы проведения инспекций блока АС и обратить внимание инспекторов на наиболее важные вопросы обеспечения безопасности конкретного блока АС.

## Методики оценки значимости нарушений

В 2008 г. в ФБУ «НТЦ ЯРБ» была разработана методика вероятностной оценки значимости нарушений на АС с использованием компьютерных моделей ВАБ. Для применения данной методики необходимы специальные знания в области ВАБ, наличие компьютерной модели ВАБ исследуемого блока АС, а также навыки работы с данной компьютерной моделью ВАБ. В связи с этим указанная методика предназначена для узкого круга специалистов в области ВАБ и не может быть использована специалистами АС и Ростехнадзора, не обладающими специальными знаниями и навыками работы с компьютерной моделью ВАБ.

В данной статье изложена упрощенная методика оценки значимости нарушений с помощью инструкций, содержащих формализованную модель ВАБ. При использовании таких инструкций специалисты, не обладающие специфическими навыками работы с моделями ВАБ, за короткий промежуток времени смогут проводить упрощенную вероятностную оценку значимости нарушений на АС. Инструкция по оценке значимости нарушений содержит формализованную модель ВАБ и пошаговый алгоритм по её применению. Формализованная модель ВАБ – это упрощенная модель ВАБ, представленная в виде набора таблиц, которые содержат основную информацию из компьютерной модели ВАБ.

Полученные с помощью инструкции результаты оценки значимости нарушений могут быть включены в отчет о расследовании нарушения в работе АС в соответствии с требованием п.4.1 приложения 2 нормативного документа НП-004-08 [3].

При разработке методики был использован подход к оценке значимости результатов инспекций в США [4–7].

## Методика оценки значимости нарушений с помощью формализованной модели ВАБ

Для оценки значимости нарушения с помощью формализованной модели ВАБ применяется не величина вероятности, а порядок её величины (порядок вероятности показателя безопасности (далее – ПВПБ)). То есть, если вероятность

реализации аварийной последовательности (далее – АП) оценивается как  $1E-09$ , то это означает, что ПВПБ АП равен 9.

Основная информация о развитии АП из компьютерной модели ВАБ преобразуется в набор «рабочих» таблиц. Для каждого ИС, моделируемого в ВАБ, разрабатывается своя «рабочая» таблица, в которую вносятся АП, приводящие к повреждению топливных элементов в активной зоне. При расчете значимости нарушения производится оценка вклада в частоту повреждения активной зоны (далее – ЧПЗ) от АП, обусловленных нарушением.

Выражение для описания вклада в ЧПЗ от АП в величинах ПВПБ выглядит следующим образом:

$$SC_{CD} = SC_{IE} + SC_{MIT} + SC_{REC}$$

где:

$SC_{CD} \approx -Lg(f_{CD})$  – значение ПВПБ для вклада аварийной последовательности в ЧПЗ;

$SC_{IE} \approx -Lg(f_{IE})$  – значение ПВПБ частоты исходного события;

$SC_{MIT} \approx -Lg(P_{MIT})$  – значение ПВПБ для вероятности отказа систем, выполняющих функции безопасности;

$SC_{REC} \approx -Lg(P_{REC})$  – значение ПВПБ для вероятности невыполнения оператором восстанавливающих действий (если применяются).

Например, рассмотрим выявленный во время инспекции недостаток, который существовал на станции в течение двух недель. При этом данный недостаток мог привести к ИС «Малая течь из первого контура», частота которого в ВАБ оценена в  $1E-04$ /год. Так как время существования нарушения находится в пределах от 3 до 30 дней, что приблизительно равно  $1/10$  года, то вероятность наступления ИС «Малая течь из первого контура» в течение двух недель будет равна  $1E-05$  или в значениях ПВПБ получаем выражение:  $SC_{IE} = 5$ .

Для АП, которая может быть вызвана рассматриваемым ИС, вероятность отказа систем, выполняющих функции безопасности, равна  $1E-04$ , а вероятность невыполнения действий по восстановлению работоспособности оборудования после начала аварии персоналом равна  $1E-01$  или в величинах ПВПБ они равны:  $SC_{MIT} = 4$ ,  $SC_{REC} = 1$ .

В этом случае оценка вклада АП в ЧПЗ в величинах ПВПБ будет определяться выражением:  $SC_{CD} = 5 + 4 + 1 = 10$ .

Для оценки значимости нарушения производится суммирование вклада в ЧПЗ от всех АП, обусловленных нарушением.

Суммирование выполняется в величинах ПВПБ по специально разработанному алгоритму, в котором используются следующие приближения:

– разность вкладов от двух АП с ПВПБ  $(m-1)$  и  $m$  будет равняться  $(m-1)$ , чему соответствует следующая математическая интерпретация:  $10^{-(m-1)} - 10^{-m} \approx 10^{-(m-1)}$ ;

– сумма вкладов от трех АП одного порядка с ПВПБ  $m$  приравнивается к вкладу одной АП со значением ПВПБ  $(m-1)$ , чему соответствует следующая математическая интерпретация:  $10^{-m} + 10^{-m} + 10^{-m} \approx 10^{-(m-1)}$ .

### Апробация методики по разработке инструкций, содержащих формализованную модель ВАБ

Для апробирования методики была разработана инструкция для оценки нарушений на блоке № 1 Калининской АС. В качестве исходной информации для формирования инструкции была использована разработанная специалистами отдела анализов риска ФБУ «НТЦ ЯРБ» в рамках международного проекта «БЕТА» модель ВАБ уровня 1 для блока № 1 Калининской АС при работе на мощности. Модель была доработана с учетом реализованных модернизаций блока.

С помощью разработанной инструкции была произведена оценка девяти наиболее представительных нарушений, произошедших на Калининской АС за период с 1991 по 2005 гг.

Результаты оценки значимости нарушений с помощью инструкций были соотнесены с результатами оценки значимости нарушений, полученными по методике, позволяющей провести точные расчеты с использованием оригинальной компьютерной модели ВАБ.

На рис. 1 представлены графики, полученные по результатам оценки значимости нарушений с помощью компьютерной модели ВАБ и с помощью инструкций, содержащих формализованную модель ВАБ. Графики показывают величину приращения (увеличения) ЧПЗ относительно базового значения ЧПЗ, обусловленную анализируемым нарушением. Оценки значимости нарушений, полученные с помощью инструкций, отличаются от оценок, полученных с помощью компьютерной модели ВАБ, в среднем на один порядок в сторону увеличения значимости, то есть инструкции дают более консервативный результат. При этом для всех рассмотренных событий общая картина оценок значимости нарушений сохраняется.

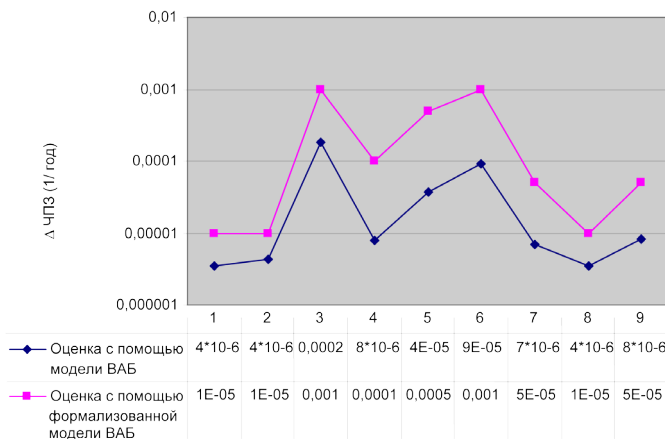


Рис. Сопоставление результатов оценки значимости нарушений, полученных с помощью инструкций, содержащих формализованную модель ВАБ, с результатами оценки значимости нарушений, полученными с помощью оригинальной компьютерной модели ВАБ

### Заключение

Сравнение результатов оценок значимости нарушений, полученных по двум разным методикам, показывает, что результаты оценки, полученные с помощью инструкций, содержащих формализо-

ванную модель ВАБ, отличаются от результатов оценок, полученных с помощью компьютерной модели ВАБ в среднем на один порядок в сторону увеличения значимости, то есть инструкции дают более консервативный результат. При этом для всех рассмотренных событий общая картина оценок значимости нарушений сохраняется. Полученные различия в результатах оценок можно объяснить тем, что инструкции разрабатываются для выполнения упрощенной оценки нарушений. Это означает, что расчеты значимости нарушений проводятся в терминах порядков вероятностей, то есть с точностью до порядка. Также инструкции не позволяют учитывать все сложные комбинации событий, которые могут происходить в ходе нарушения, и возможные временные зависимости между событиями и не позволяют переоценивать вероятности отказа по общей причине для однотипного оборудования, выполняющего функции резервирования.

Но, не смотря на сказанное выше, можно констатировать, что инструкции, содержащие формализованную модель ВАБ, могут быть успешно использованы для оценки нарушений при отсутствии оперативной возможности использования оригинальной компьютерной модели ВАБ.

### Литература

1. Заявление о политике «Применение вероятностного анализа безопасности действующих блоков атомных станций». Москва, 1999.
2. Заявление о политике по применению вероятностного анализа безопасности и риск-информативных методов для атомных станций. Ядерная и радиационная безопасность, № 63, 2012.
3. Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе атомных станций. НП-004-08.
4. US Nuclear Regulatory Commission, Inspection Manual Chapter 0609, «Significance Determination Process», 2008.
5. US Nuclear Regulatory Commission, Inspection Manual Chapter 0609.04, «Phase 1 - Initial Screening and Characterization of Findings», 2008.
6. US Nuclear Regulatory Commission, Inspection Manual Chapter 0609, App A «Determining the Significance of Reactor Inspection Findings for At-Power Situations», 2008.
7. US Nuclear Regulatory Commission, «Risk Assessment of Operational Events», Handbook, Volume 1, 2, 3, SDP Phase 3, 2008.

