

Обоснование периодичности проверок систем безопасности АЭС с помощью программного комплекса БАРС

При эксплуатации атомных электростанций важнейшей задачей является обеспечение безопасности их функционирования. Среди мер по защите от аварийных ситуаций на АЭС основная нагрузка лежит на системах безопасности (СБ), отвечающих за работоспособность и безотказность оборудования станции. В свою очередь эти системы также нуждаются в контроле за своим состоянием. В статье приводится описание различных стратегий проверок надежности функционирования СБ АЭС, отмечается важность выбора правильных параметров этих стратегий и рассказывается о том, какую помощь в решении этой проблемы оказывает программный комплекс (ПК) БАРС, разработанный в ОАО «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» (ОАО «СПбАЭП»).

Как известно, системы безопасности АЭС имеют ярко выраженную специфику, к отличительным особенностям которой следует отнести:

- ▶ сложность режимов использования;
- ▶ разнотипность элементов, входящих в их состав;
- ▶ использование сложных стратегий периодического контроля и ремонта каналов.

Рассматриваемые системы могут находиться в одном из двух режимов использования – в режиме ожидания или в режиме выполнения функции.

В первом режиме оборудование пребывает, как правило, более длительное время, физические причины отказов достаточно специфичны (не связаны, например, с механическим износом), интенсивность отказов сравнительно невелика. Во время ожидания все или часть элементов могут проверяться путем приведения в действие и затем восстанавливаться.

Во втором режиме могут иметь место все физические причины отказов, их интенсивность, как правило, более высока. Контролю подлежат, прямо или косвенно, все элементы, восстанавливаться же может, обычно, меньшая, чем при нахождении в первом режиме, часть элементов.

Контроль состояния элементов СБ, находящихся в режиме ожидания, осуществляется путем приведения их в действие, поканально, через строго определенные промежутки времени. При этом возможно использование следующих стратегий проверок:

- ▶ проверка одновременно всех каналов СБ (без сдвигов во времени между проверками разных каналов);

- ▶ поочередная проверка каналов со сдвигом во времени между проверками разных каналов. Вторая стратегия проверок имеет также две разновидности:

- ▶ стратегия без внеочередных проверок каналов при обнаружении отказа в одном из них в ходе плановой проверки;

- ▶ стратегия с внеочередными проверками одного или всех каналов при обнаружении отказа в одном из них при плановой проверке.

Основная цель периодических проверок СБ заключается в обнаружении отказавших элементов и их восстановлении, то есть в поддержании заданного уровня надежности этих систем.

В зависимости от режима контроля и восстановления отказы элементов систем безопасности можно разделить на:

- ▶ скрытые, возникающие у элементов, неконтролируемых в режиме ожидания;

- ▶ скрытые, возникающие у элементов, периодически контролируемых в режиме ожидания и обнаруживаемые во время контроля, как устраняемые, так и неустраняемые при работе установки на мощности;

- ▶ явные, возникающие у элементов, непрерывно контролируемых в режиме ожидания, оперативно выявляемые, как устраняемые, так и неустраняемые при работе установки на мощности;

- ▶ явные, возникающие при работе элементов по прямому назначению, устраняемые и неустраняемые.

Наличие разных стратегий проверок работоспособности оборудования СБ вызвано стремлением обеспечить максимально возможный (достижимый) уровень надежности СБ. Не менее очевидно то, что этот уровень в значительной степени определяется параметрами этих стратегий, например, частотой плановых проверок, длительностью периода ожидания очередной проверки и т.д. Неправильный выбор параметров проверок может привести к обратному результату. Например, достоверно известно, что слишком большая частота проверок работоспособности аварийных дизель-генераторов на АЭС «Пакш» (Венгрия) привела к преждевременному выходу их из строя.

Выбор параметров проверок представляет собой весьма нетривиальную задачу, так как наличие разных стратегий контроля и восстановления технических средств

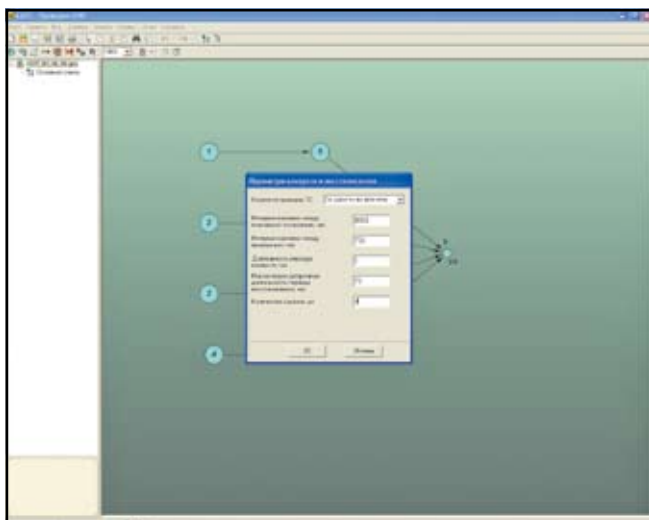


Рис. 1. Окно выбора стратегии контроля и восстановления

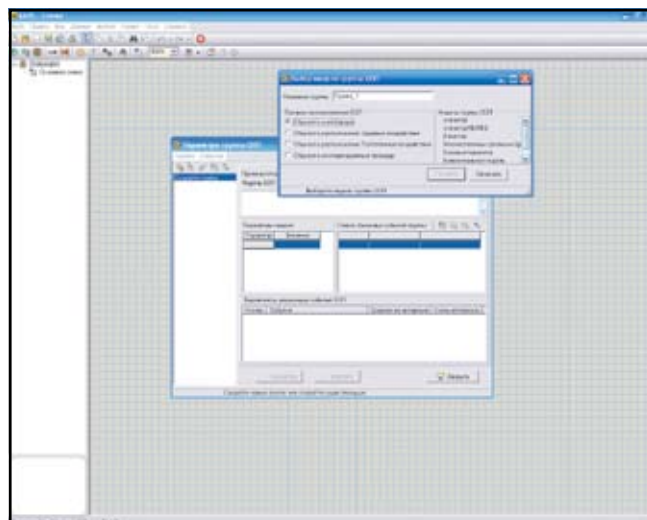


Рис. 3. Окно выбора и задания параметров модели ООВ

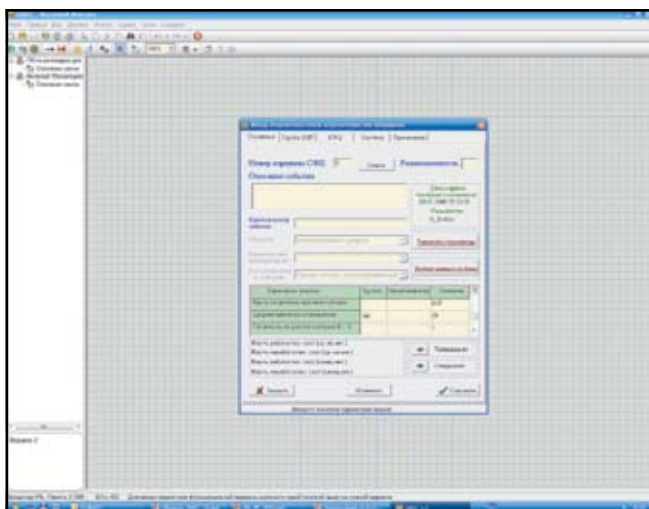


Рис. 2. Окно задания исходных данных проверяемого элемента

значенного для выполнения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) АЭС, был включен специальный модуль, который позволяет производить все необходимые вычисления в автоматизированном режиме. На рис. 1-3 представлены диалоговые окна ПК БАРС, позволяющие задавать все необходимые исходные данные.

ПК БАРС позволяет анализировать влияние на надежность СБ следующих параметров стратегий проверок ТС:

- ▶ длительности периода между проверками;
- ▶ среднего времени восстановления;
- ▶ вероятности отсутствия пускового отказа;
- ▶ вероятности безошибочных действий личного состава при контроле;
- ▶ вероятности обнаружения отказа личным составом;
- ▶ вида стратегии проверок (со сдвигом и без сдвигов во времени);
- ▶ интенсивности отказов;
- ▶ наличия отказов общего вида (ООВ).

значительно усложняет сам процесс расчета показателей надежности. Это связано с тем, что вероятность безотказного функционирования рассматриваемой системы является многопараметрической функцией.

Например, рассмотрим влияние такого параметра, как длительность периода между проверками. На первый взгляд, чем меньше эта величина (то есть чем чаще мы проводим проверки), тем меньше должна быть вероятность застать систему в неработоспособном состоянии. Однако при каждой проверке существует вероятность ошибки персонала при ее проведении, пускового отказа, ошибки персонала при обнаружении отказа, ошибки персонала при восстановлении отказавшего оборудования, которые, в свою очередь, ведут к снижению надежности системы. Такая неоднозначность влияния практически всех параметров, определяющих надежность систем рассматриваемого типа, а также очевидная трудность выбора их оптимальных значений приводит к необходимости выбора периодичности и других параметров проверок путем выполнения многократных расчетов.

Поскольку трудоемкость "ручных" расчетов весьма велика, то в состав ПК БАРС, предна-

На рис. 4 в целях сравнения представлены результаты расчетов в соответствии со стратегией перио-

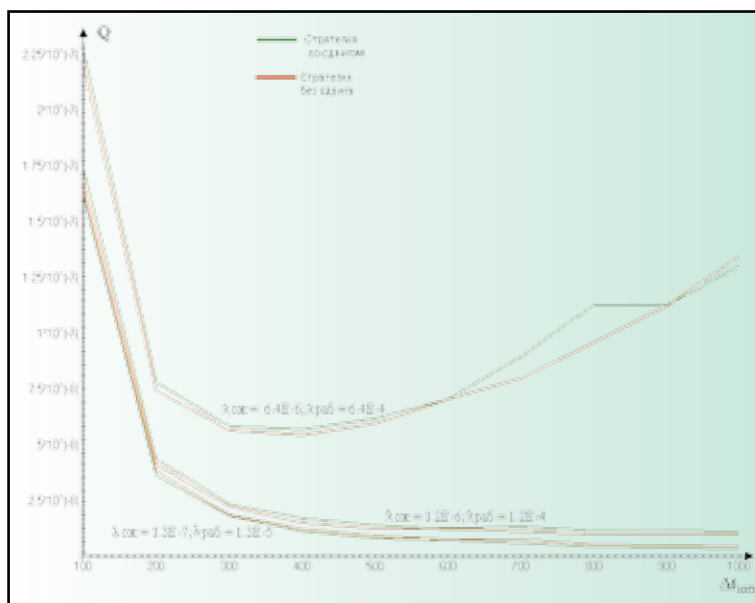


Рис. 4. Результаты сравнительных расчетов по оценке эффективности различных стратегий периодических проверок без учета ООВ

дических проверок оборудования со сдвигом времени между проверками и без сдвига при различном уровне надежности оборудования и при условии отсутствия ООВ для трехканальной системы безопасности.

Как следует из этих результатов, в тех случаях, когда система состоит из низконадежных элементов, имеется четко выраженный оптимум по длительности межпроверочного периода. В нашем примере это 400 часов. Если же система состоит из высоконадежных элементов, то оптимум фактически отсутствует. Однако из графиков на рис. 4 четко видно, что слишком частые проверки действительно снижают надежность СБ. Из них же следует, что начиная с некоторого периода (примерно 700 часов) изменение длительности межпроверочного периода перестает оказывать существенное влияние на надежность. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что стратегия проверок со сдвигами между очередными проверками эффективна только при наличии в составе СБ высоконадежных элементов. В противном случае более эффективна стратегия без сдвигов.

На рис. 5 и 6 представлены результаты расчетов по сравнительной оценке эффективности этих же стратегий, но уже с учетом наличия ООВ. В качестве модели ООВ выбрана модель альфа-фактора, параметры которой приняты равными: $\alpha_1 = 0,994288$, $\alpha_2 = 0,0046$, $\alpha_3 = 0,001112$. Окно выбора и задания параметров модели ООВ представлено на рис. 3.

Расчеты выполнены для двух вариантов:

- ▶ по усовершенствованной модели альфа-фактора, реализованной в ПК БАРС (рис. 5);
- ▶ по модели альфа-фактора NUREG (рис. 6).

Как следует из рис. 5, и при учете ООВ в том случае, когда система состоит из низконадежных элементов, имеется четко выраженный оптимум по длительности межпроверочного периода. В случае наличия в составе системы только высоконадежных элементов оптимум, фактически, отсутствует. Так же как и ранее (рис. 4), из рис. 5 следует, что слишком частые проверки понижают надежность СБ. Изменение длительности межпроверочного периода также перестает оказывать существенное влияние на надежность, начиная с длительности периода примерно в 700 часов.

Из рис. 6 следует что, в случае использования "классической" модели альфа-фактора введение стратегии со сдвигом по времени между проверками позволяет на порядок снизить вероятность отказа системы. Расчеты показывают, что для системы из условно низконадежных элементов оптимум длительности интервала между проверками лежит в пределах 250-300 часов. Для систем, включающих в себя средненадежные элементы оптимальная длительность межпроверочного периода составляет 700-800 часов. И, наконец, для систем, состоящих из высоконадежных элементов, оп-

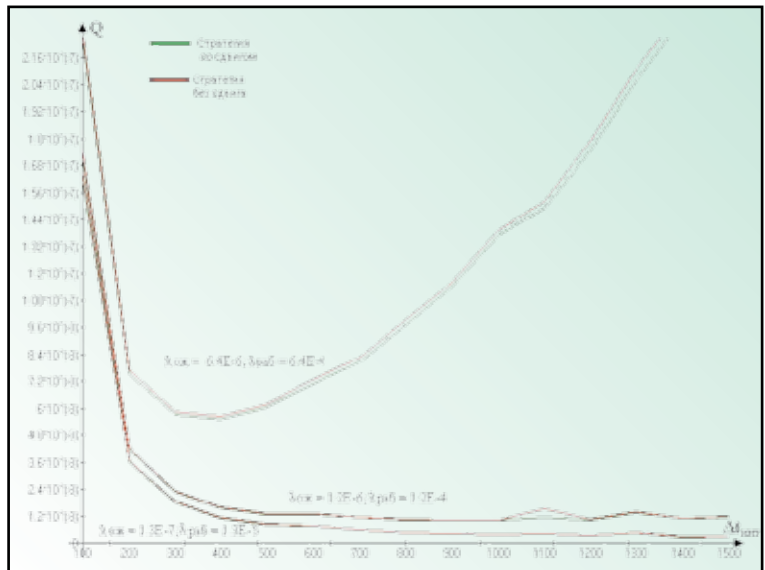


Рис. 5. Результаты сравнительных расчетов по оценке эффективности различных стратегий периодических проверок с учетом ООВ (усовершенствованная модель альфа-фактора)

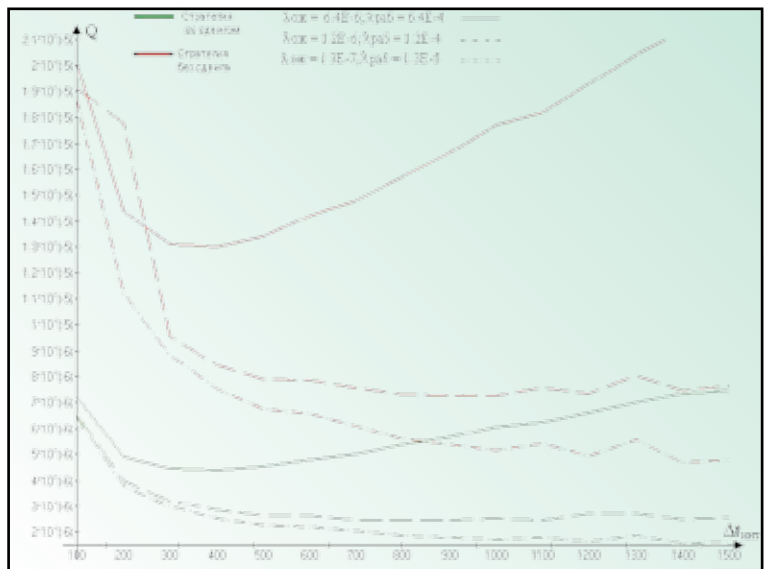


Рис. 6. Результаты сравнительных расчетов по оценке эффективности различных стратегий периодических проверок с учетом ООВ (модель альфа-фактора NUREG)

тимальное значение длительности интервала между проверками составляет порядка 1200 часов.

Как следует из приведенных выше результатов сравнительных расчетов, использование ПК БАРС позволяет обосновать периодичность проверок систем безопасности АЭС с учетом всех значимых факторов – надежности оборудования, числа каналов СБ, возможных ошибок персонала, ООВ и т.д. Это, в свою очередь, дает возможность повысить обоснованность решений, закладываемых в регламенты безопасной эксплуатации АЭС, инструкции по эксплуатации реакторных установок и другие нормативные документы, призванные обеспечить надежность функционирования систем безопасности объектов атомной энергетики.

**Г. А. Ершов, Ю. Л. Ермакович, А. А. Калинин,
М. А. Козлов, М. А. Парфентьев,
ОАО "СПбАЭП"**



atomexpo 2010

7-9 июня 2010 года • Москва • ЦВЗ «Манеж»

Международный форум «АТОМЭКСПО 2010»

Международный конгресс «Атомная энергетика – Двигатель инновационного развития»

Пленарная сессия:

- Инновационный вклад атомной отрасли в модернизацию экономики
- Модернизация мировой атомной отрасли для обеспечения ядерного ренессанса, ядерные энерготехнологии нового поколения

Основные темы круглых столов:

- Инвестиции в развитие атомной энергетики
- Человеческий капитал в атомной отрасли
- Развитие информационных технологий
- Атомное машиностроение
- Термоядерный синтез

• Ядерное право

- Международная кооперация в ядерном топливном цикле
- Оптимизация реакторов ВВЭР
- Замкнутый топливный цикл с быстрыми реакторами

Международная выставка «АТОМЭКСПО 2010»

- Более 200 компаний из 30 стран;
- Топ-менеджеры крупнейших мировых атомных компаний, руководители государственных органов.

Организатор



РОСАТОМ

Оператор

АТОМЭКСПО

Спонсор Форума

Stratinvest Ru
СтратинвестРу

Генеральный
информационный спонсор

Nuclear.Ru

Генеральный
информационный партнер

platts
150 YEARS

Генеральный
Интернет партнер

RusCable.Ru
История успеха

Генеральный
телевизионный партнер

РОССИЯ 24

Официальные информационные
партнеры

БЕЗОПАСНОСТЬ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ENVIRONMENTAL SAFETY

EUROPEAN ENERGY REVIEW

atomic@npp.ru

энергетика
сегодня

КАБЕЛЬ

интерфакс
INTERFAX

Информационные партнеры

ИНЖЕНЕРНЫЙ
КЛУБ

АТОМЭНЕРЖИТИКА

Электротехники

EnergyLand.info

РОССИЯ
МАШИНОСТРОЕНИЕ

АТОМ

ПРАЙМ-ТАСС

electro

ЭНЕРГЕТИКА
РОССИИ

expo
business

РБК daily

СТПА

elec.ru

По вопросам участия, пожалуйста, обращайтесь в Дирекцию Форума:
тел.: +7 495 645 23 27 • факс: +7 495 663 38 20 • e-mail: atomexpo@rosatom.info

www.atomexpo2010.ru