

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

А.М. Бахметьев, И.А. Былов, А.В. Думов, А.С. Смирнов

*Федеральный научно-производственный центр ФГУП ОКБМ им. И.И.Африкантова,
г. Н. Новгород*



Разработка в ходе выполнения вероятностного анализа безопасности сложной логико-вероятностной модели ядерной установки и дальнейшее ее всестороннее исследование невозможно без соответствующего программного обеспечения.

Выполнен обзор программных комплексов, используемых в настоящее время в отрасли при проведении вероятностного анализа безопасности объектов атомной энергетики.

Представлено краткое описание программного комплекса CRISS – первого отечественного программного продукта, внедренного в практику вероятностного анализа безопасности ядерных установок.

Определены основные направления дальнейшего развития программного комплекса CRISS: использование сетевой архитектуры «клиент–сервер» на базе СУБД Oracle с регламентацией прав пользователей, совершенствование функциональных возможностей, расширение используемых моделей для количественного анализа, введение блока для проведения анализа видов и последствий отказов, обеспечение качества работы при использовании программы и автоматизированного импорта моделей из программ-аналогов.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение вероятностного анализа безопасности (ВАБ) первого и второго уровней является в настоящее время необходимым условием для получения лицензии на эксплуатацию атомной станции (АС).

Разработка в ходе выполнения ВАБ сложной логико-вероятностной модели ядерной установки (ЯУ) и дальнейшее ее всестороннее исследование невозможно без соответствующего программного обеспечения. Поэтому развитие методологии ВАБ ядерных установок неразрывно связано с созданием и совершенствованием программных средств для его выполнения.

Основными задачами ВАБ, для решения которых используются программные средства, являются [1]:

- моделирование аварийных последовательностей;

© А.М. Бахметьев, И.А. Былов, А.В. Думов, А.С. Смирнов, 2008

- анализ надежности систем;
- анализ данных;
- разработка вероятностной модели блока АС;
- выполнение количественных расчетов;
- анализ значимости, чувствительности и неопределенности.

Первое программное средство (ПС) для анализа деревьев отказов (ДО) в области атомной энергетики PREPP KITT было разработано в 1970 г. на основе результатов первых исследований, полученных при использовании методов ВАБ для анализа аварий АЭС [1]. По состоянию на 1990 г. [1] было разработано уже около 100 ПС, применявшихся для решения различных задач ВАБ. Дальнейшее развитие программных средств происходило в направлении создания и совершенствования программных комплексов (ПК), позволявших в рамках одного программного пакета решать необходимый набор задач.

ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВАБ

К числу наиболее распространенных зарубежных программных комплексов, используемых в настоящее время при проведении ВАБ объектов атомной энергетики, являются Risk Spectrum (Швеция) [2] и SAPHIRE (США) [3]. Указанные программные продукты применяются российскими предприятиями для анализа безопасности действующих и проектируемых АС с реакторами ВВЭР и РБМК.

Risk Spectrum и SAPHIRE представляют собой программные комплексы, предназначенные для решения всех основных задач ВАБ объектов атомной энергетики методами деревьев событий (ДС) и деревьев отказов.

Программный комплекс Risk Spectrum PSA Professional был разработан и ведется в настоящее время компанией Relcon Scandpower AB. Risk Spectrum является результатом последовательного развития и модификаций программы RELTREE – одной из первых программ по анализу деревьев отказов с использованием компьютерной техники.

Программный комплекс SAPHIRE (Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations) разработан в Idaho National Engineering Laboratory для Комиссии по атомной энергии США и является результатом последовательного развития и модернизации программ IRRAS (Integrated Reliability and Risk Analysis System) и SARA (System Analysis and Risk Assessment).

Программные комплексы Risk Spectrum PSA Professional и SAPHIRE позволяют:

- накапливать в реляционной базе данных проекта информацию, необходимую для выполнения ВАБ;
 - моделировать системы методом деревьев отказов;
 - моделировать аварийные последовательности методом деревьев событий;
 - проводить качественный и количественный анализ разработанных логических моделей (ДО и ДС);
 - выполнять анализ значимости, чувствительности, неопределенности результатов анализа;
 - выводить на печать графические изображения ДО и ДС, результаты анализа.
- Рассматриваемые программные комплексы имеют сходную структуру:
- набор баз данных, содержащих информацию о вероятностных показателях надежности, деревьях отказов, деревьях событий и систему управления базами данных;
 - редакторы ДО и ДС;
 - расчетный блок для выполнения анализа логических моделей (ДО и ДС);
 - блок вывода результатов анализа.

Risk Spectrum и SAPHIRE используют единый интерфейс и систему меню для доступа к различным блокам программы. При выполнении анализа Risk Spectrum позволяет производить автоматизированный учет отказов по общей причине (ООП) с использованием моделей альфа-, бета-фактора и множественных греческих букв. SAPHIRE для учета ООП требует введения дополнительных условных элементов в дерева отказов или установки отдельных программных модулей, не входящих в состав программы.

РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВАБ

В Опытном конструкторском бюро машиностроения (ОКБМ) в течение последних 20 лет разрабатывается и совершенствуется программный комплекс CRISS, который был первым отечественным программным продуктом, внедренным в практику вероятностного анализа безопасности ЯУ. ПК CRISS различных поколений, начиная с конца 80–начала 90-х годов, широко использовались как для поддержки проектирования новых установок, так и сопровождения эксплуатации действующих ЯУ (см. табл. 1).

Таблица 1

Создание программных комплексов для проведения ВАБ

Временной период	Программа	Особенности	Практическое использование
Конец 80 – начало 90-х годов	TREES CRISS	EC-1066 Раздельное моделирование систем безопасности и аварийных последовательностей	АСТ-500, БН-600, БН-800, ВПБЭР-600, установки малой мощности
Конец 90-х годов	CRISS-2.0	IBM PC, MS DOS	ВАБ Воронежской АСТ и АСТ СХК
2001–2002 гг.	CRISS-3.0 CRISS-3.1	IBM PC, MS DOS→MS Windows	ВАБ ГТ-МГР ВАБ АТЭС с плавучим энергоблоком
2004 г.	CRISS-4.0	IBM PC, MS Windows 98	ВАБ БН-600, установки малой и средней мощности. Обучение специалистов отрасли

В настоящее время в эксплуатации находится программный комплекс IV поколения CRISS 4.0, предназначенный для использования на персональном компьютере под управлением операционной системы MS Windows.

Моделирование систем безопасности и аварийных последовательностей с использованием программного комплекса осуществляется в виде соответственно ДО и ДС с проведением их качественного и количественного анализа. При этом решаются следующие задачи:

- накопление в базах данных информации о составе систем безопасности, исходных событиях аварий, учитываемых ошибках персонала и показателях надежности оборудования ЯУ, включая параметры моделей учета отказов по общей причине, частотах исходных событий, регламенте проверок работоспособности элементов систем безопасности;
- управление реляционными базами данных;
- создание и редактирование ДО и ДС;
- проведение качественного и количественного анализа ДО;
- выполнение анализа значимости, чувствительности и неопределенности;
- редактирование минимальных сечений;

- вывод на печать и сохранение в стандартных форматах MS Word и MS Excel графических изображений ДО и ДС, результатов качественного и количественного анализа, анализа значимости, чувствительности и неопределенности для формирования отчетной документации.

Реализованный в CRISS 4.0 алгоритм анализа ориентирован на возможность эффективной обработки больших ДО с автоматизированным учетом зависимостей, обусловленных ООП (модели β -фактора, биномиальной интенсивности отказов). С этой целью проводится модуляризация ДО, отсеивание незначимых сечений по абсолютному критерию. Количественный анализ выполняется по асимптотическим формулам, без применения численного интегрирования.

В рамках количественного анализа проводится анализ значимости минимальных сечений, базисных событий, определенных наборов минимальных сечений и базисных событий, типов отказов и систем безопасности. Предусмотрена возможность анализа чувствительности результатов анализа. На основе данных по неопределенности показателей надежности базисных событий может быть выполнен анализ неопределенности результирующих показателей надежности и безопасности методом Монте-Карло.

Для оперативного уточнения логико-вероятностной модели систем, аварийных последовательностей и установки в целом полученный набор минимальных сечений может быть отредактирован пользователем с уточнением исходных данных и результирующих показателей.

Программный комплекс CRISS 4.0 верифицирован и аттестован применительно к стационарным и транспортным установкам. Модифицированная версия программы (CRISS-4.1) установлена на энергоблоке БН-600 Белоярской атомной станции. Учебные версии программы используются в вузах при подготовке специалистов в области атомной энергетики.

Опыт аттестации и практического использования программного комплекса CRISS 4.0, изучение зарубежных программ, а также нормативное расширение номенклатуры задач ВАБ определили направления его дальнейшего развития:

- совершенствование функциональных возможностей;
- использование сетевой архитектуры с регламентацией прав пользователей;
- расширение используемых моделей для количественного анализа;
- обеспечение качества работы при использовании программы.

При этом, если первая из указанных задач направлена в значительной степени на внедрение функций, имеющихся в зарубежных программах, то последние три задачи являются новыми, и их решение обеспечивает особенность усовершенствованного отечественного ПК.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Для повышения эффективности анализа и удобства работы с программой усовершенствованная версия отечественного ПК (CRISS 5.0) дополняется следующими функциями: использование трансферов (переходов) между деревьями событий; учет событий успеха в процессе анализа деревьев событий; автоматизированный поиск и исключение из результирующего набора минимальных сечений групп несовместных событий. В ПК CRISS 4.0 логические ключи (house events) реализовались с помощью множественных ветвлений деревьев событий, когда каждому ветвлению соответствовало определенное дерево отказов системы. В CRISS 5.0 дополнительно имеется возможность использования логических ключей в структуре деревьев отказов.

Аналогично существующим программам предусмотрено получение оценок более высокого порядка при определении вероятности суммы минимальных се-

чений. Это позволит избежать излишнего консерватизма с учетом зависимости между отдельными сечениями.

Программный комплекс дополняется блоком для проведения анализа видов и последствий отказов (АВОП), который представляет собой инженерную процедуру последовательного выявления потенциальных видов отказов элементов и их влияния на состояние систем.

АВОП проводится отдельно для каждой системы безопасности, сформированной в базе данных программы CRISS, и обеспечивает полноту выявления различных видов отказов элементов, их причин и последствий.

Для проведения АВОП используется универсальный формат данных (рис. 1). Для каждого вида отказа элемента предусмотрена классификация тяжести последствий (см. табл. 2). В программе реализована возможность вывода всего списка элементов определенной системы с ранжированием по категории тяжести последствий.

В рамках внедрения импортозамещающих технологий целесообразно ставить

Анализ видов и последствий отказов

Наименование системы:

Функция системы:

Код элемента:

Тип элемента:

Описание элемента:

Режим работы элемента	Вид отказа	Способы и средства обнаружения отказа	Причина отказа	Вероятность отказа	Последствия отказа для			Категория тяжести последствий	Рекомендации по предотвращению и ограничению последствий отказа
					смежных элементов	системы	смежных систем		
...
...

Рис. 1. Формат таблицы для проведения АВОП

Таблица 2

Классификация отказов элементов по категориям тяжести последствий

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика последствий отказов
1	Полный отказ системы
2	Частичный отказ системы
3	Отказ элемента, который не влечет за собой отказ системы
4	

задачу замены используемых в отрасли зарубежных программ на соответствующую отечественную программу. С этой целью предусматривается автоматизированный импорт баз данных из программ Risk Spectrum и SAPHIRE в программу CRISS-5.0, т.е. замена зарубежной программы на отечественную не потребует заново строить модель ядерной установки.

В ПК CRISS 4.0 сложность логических моделей была ограничена: деревья отказов не более 100 входов оператора; деревья событий не более 32 функциональных событий. Новый программный комплекс позволяет создавать и редактировать деревья отказов и деревья событий любой сложности без ограничения количества входящих элементов.

В разрабатываемом ПК CRISS 5.0 расширяются функциональные возможности интерфейса. Логика и основные элементы интерфейса программы наследуются у

программного комплекса предыдущего поколения; его внешний вид и функции дорабатываются с учетом рекомендаций и замечаний пользователей по опыту эксплуатации.

В ПК CRISS 5.0 совершенствуется процедура формирования отчетов по базам данных, разрабатываемым моделям и результатам анализа. В новом программном комплексе отчеты не ограничиваются набором шаблонов, предлагаемым разработчиками. Для удобства пользователя в ПК включен генератор отчетов, позволяющий пользователю самому создавать необходимые формы отчетов в формате MS Word, что отличает усовершенствованный ПК от аналогов.

Значительное внимание при разработке усовершенствованной версии программы уделено повышению быстродействия алгоритма по сравнению с аналогами. Первые тестовые расчеты показали существенный прогресс в данной области.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Программный комплекс CRISS 4.0 и зарубежные программы ориентированы на использование локальных баз данных, размещенных на отдельных компьютерах, что приводит к необходимости синхронизации используемых данных, интеграции локальных моделей систем и аварийных последовательностей, разработанных специалистами, в единую базу данных для создания логико-вероятностной модели ядерной установки в целом.

Решение указанных задач при выполнении ВАБ с помощью существующих программ осуществляется организационными мерами и может быть упрощено при построении программного комплекса на базе архитектуры «клиент–сервер» и использовании единой администрируемой базы данных с разграничением прав пользователей на внесение изменений (рис. 2).

Разрабатываемый ПК CRISS 5.0 строится с использованием сетевой архитектуры на базе СУБД Oracle. При этом к серверной части программы отнесены собственно реляционная база данных, процедуры управления и администрирования базой, а в клиентскую часть включены интерфейс работы с базой данных и инструменты пользователя: графические редакторы ДО и ДС, средства выполнения анализа логических моделей и формирования отчетов.

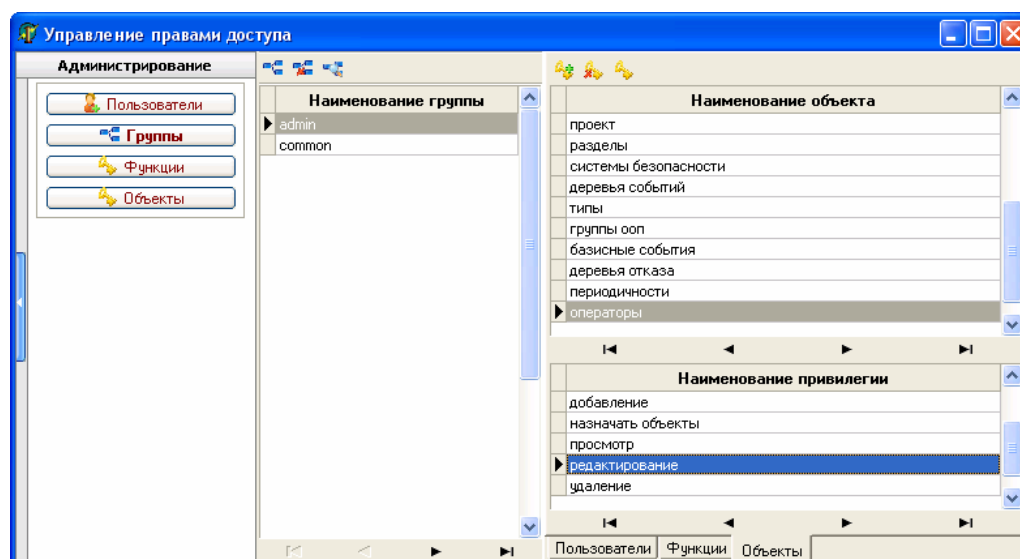


Рис. 2. Интерфейс управления правами доступа в ПК CRISS 5.0

Использование сетевой архитектуры на базе СУБД Oracle также позволило переработать структуру представления объектов в системе и разработать библиотеку для однообразной работы с объектами.

РАСШИРЕНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Дополнительные модели

Расширение набора расчетных моделей осуществляется в рамках использования быстродействующих алгоритмов на базе аналитических соотношений без применения численного интегрирования, что принципиально важно с учетом сложности рассматриваемых моделей ядерных установок. Предусматривается введение оценки вероятности минимальных сечений при оптимальном регламенте проверок, когда отдельные каналы системы проверяются с равномерным сдвигом по времени. Внедряется учет восстановления в режиме работы, что принципиально важно при рассмотрении длительных интервалов по времени выполнения функции безопасности.

Оценка вероятности минимальных сечений при оптимальном регламенте проверок

Известно, что регламент проверок многоканальной системы может быть оптимизирован путем равномерного смещения по времени проверок работоспособности отдельных каналов. Было показано [4], что для сечения из n элементов, проверки которых осуществляются поочередно через равные промежутки времени T/n , вероятность его реализации вычисляется по формуле:

$$V = \frac{1}{T/n} \int_0^{T/n} \lambda_1 t \cdot \lambda_2 \left(t + \frac{T}{n} \right) \cdot \dots \cdot \lambda_n \left(t + (n-1) \frac{T}{n} \right) dt, \quad (1)$$

где $\lambda_i, i = \overline{1, n}$ – интенсивность отказов i -го элемента; проверки и восстановления «мгновенные».

Представим подынтегральную функцию в виде алгебраического многочлена по степеням t :

$$V = \frac{n \prod_{i=1}^n \lambda_i}{T} \int_0^{T/n} \left(t^n + \sum_{k=1}^{n-1} A_k t^{n-k} \right) dt, \quad (2)$$

где

$$A_k = \left(\frac{T}{n} \right)^k \cdot S_{nk}, \quad S_{nk} = \sum_{i=1}^{C_{n-1}^k} m_{i1} \cdot m_{i2} \cdot \dots \cdot m_{ik}, \quad (3)$$

$$m_{ij} = \overline{1, n-1}, m_{ij} \neq m_{ie}, j, e = \overline{1, k}, j \neq e.$$

Производя интегрирование в выражении (2) и выполняя преобразования, получим:

$$V = \frac{1}{C} \cdot \frac{\left(\prod_{i=1}^n \lambda_i \right) T^n}{n+1}, \quad C = \frac{n^n}{1 + (n+1) \sum_{k=1}^{n-1} \frac{S_{nk}}{n-k+1}}. \quad (4)$$

Для случаев двух и трех элементов, согласно (3), (4), в частности, имеем $C_2 = 1,6$ и $C_3 = 3$.

Таким образом, с использованием соотношений (3), (4) может быть выполнена аналитическая оценка вероятности несрабатывания на требования при оптимальных с точки зрения надежности поочередных проверках элементов, что и реализуется в программе CRISS-5.0.

Восстановление работоспособности элементов системы в режиме работы

В ряде случаев представляет интерес оценка надежности системы с учетом восстановления элементов в режиме работы, что приводит к более реалистичным результатам.

Рассмотрим систему из 3 параллельно соединенных (в смысле надежности) элементов. Граф, моделирующий изменение состояний системы, представлен на рис. 3. Здесь для учета ООП использована модель биномиальной интенсивности отказов.

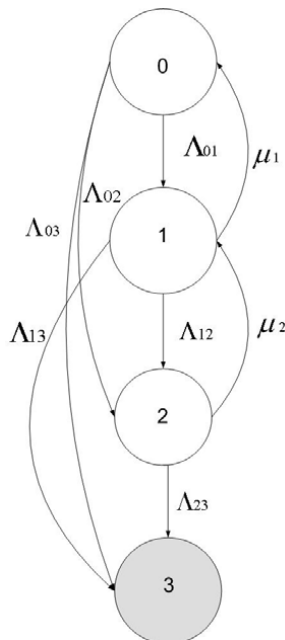


Рис. 3. Граф состояний системы из 3 параллельно соединенных элементов: 0, 1, 2, 3 – состояния системы, характеризующие число отказавших элементов: $\Lambda_{01} = 3 \cdot [\lambda + \mu \cdot p \cdot (1-p)^2]$; $\Lambda_{02} = 3 \cdot \mu \cdot p^2 \cdot (1-p)$; $\Lambda_{03} = \omega + \mu \cdot p^3$; $\Lambda_{12} = 2 \cdot [\lambda + \mu \cdot p \cdot (1-p)]$; $\Lambda_{13} = \omega + \mu \cdot p^2$; $\Lambda_{23} = \lambda + \mu \cdot p + \omega$; $\mu_1 = v$; $\mu_2 = v$ (при ограниченном восстановлении) и $\mu_2 = 2v$ (при неограниченном восстановлении). Здесь λ – интенсивность независимых отказов; $\mu(\omega)$ – интенсивность нелетальных (летальных) шоков; p – вероятность отказа определенного элемента при возникновении нелетального шока; v – интенсивность восстановлений элемента

Поведение указанной системы описывается системой дифференциальных уравнений вида (марковская модель):

$$\begin{aligned} P'_0(t) &= -(\Lambda_{01} + \Lambda_{02} + \Lambda_{03}) \cdot P_0(t) + \mu_1 \cdot P_1(t) \\ P'_1(t) &= -(\Lambda_{12} + \Lambda_{13} + \mu_1) \cdot P_1(t) + \Lambda_{01} \cdot P_0(t) + \mu_2 \cdot P_2(t) \\ P'_2(t) &= -(\Lambda_{23} + \mu_2) \cdot P_2(t) + \Lambda_{12} \cdot P_1(t) + \Lambda_{02} \cdot P_0(t) \end{aligned}$$

Решая систему дифференциальных уравнений, получаем вероятность отказа системы на интервале $[0, t]$:

$$V(t) = 1 - (Ae^{at} + Be^{bt} + Ce^{ct}),$$

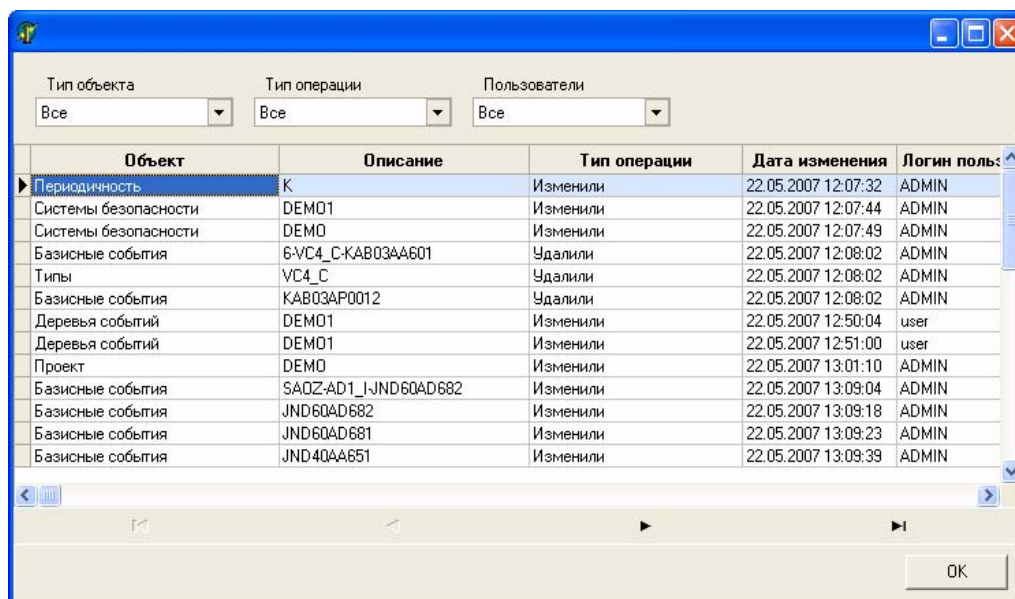
где A, B, C, a, b, c – коэффициенты, определяемые через интенсивности переходов между состояниями системы и ее состояние в начальный момент времени.

С использованием представленной схемы формируются модели для типовых структур систем безопасности в рамках программы CRISS-5.0.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММЫ

Разработка ВАР представляет собой сложный трудоемкий процесс, выполняемый большой группой специалистов. Поэтому успешное решение задач в значительной степени определяется разработкой и выполнением процедур обеспечения качества. С этой целью в программном комплексе CRISS 5.0 вводится процедура автоматического отслеживания изменений баз данных (рис. 4), которая позволяет администратору баз данных контролировать все изменения, производимые пользователями ПК.

При создании сложных трудоемких моделей важное значение имеет сохранение результатов при ошибках пользователей или сбоях програм-



Объект	Описание	Тип операции	Дата изменения	Логин поль:
Периодичность	K	Изменили	22.05.2007 12:07:32	ADMIN
Системы безопасности	DEMO1	Изменили	22.05.2007 12:07:44	ADMIN
Системы безопасности	DEMO	Изменили	22.05.2007 12:07:49	ADMIN
Базисные события	6-VC4_C-KAB03AA601	Удалили	22.05.2007 12:08:02	ADMIN
Типы	VC4_C	Удалили	22.05.2007 12:08:02	ADMIN
Базисные события	KAB03AP0012	Удалили	22.05.2007 12:08:02	ADMIN
Деревья событий	DEMO1	Изменили	22.05.2007 12:50:04	user
Деревья событий	DEMO1	Изменили	22.05.2007 12:51:00	user
Проект	DEMO	Изменили	22.05.2007 13:01:10	ADMIN
Базисные события	SA0Z-AD1_I-JND6QAD682	Изменили	22.05.2007 13:09:04	ADMIN
Базисные события	JND6QAD682	Изменили	22.05.2007 13:09:18	ADMIN
Базисные события	JND6QAD681	Изменили	22.05.2007 13:09:23	ADMIN
Базисные события	JND4QAA651	Изменили	22.05.2007 13:09:39	ADMIN

Рис. 4. Отслеживание изменений баз данных в ПК CRISS 5.0

много обеспечения. В ПК CRISS 5.0 предусмотрена возможность автоматического резервного копирования баз данных с их последующим восстановлением.

Еще одним аспектом обеспечения качества является контроль конфигурации программы при ее модернизации. Для решения данной задачи в ПК CRISS 5.0 вводятся автоматизированные процедуры, которые обеспечивают оперативную верификацию программы после ее корректировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Нормативное расширение номенклатуры задач вероятностного анализа безопасности, опыт практического использования отечественного программного комплекса, постановка задачи импортозамещения требуют дальнейшего совершенствования и развития программы.

2. Для решения указанных задач разрабатывается программный комплекс CRISS 5.0, использующий сетевую архитектуру с регламентацией прав пользователей.

3. В усовершенствованной программе расширяется набор моделей для количественного анализа, расширяются функциональные возможности программы, вводятся процедуры по обеспечению качества работы, предусматривается автоматизированный импорт моделей ядерной установки из используемых в отрасли зарубежных программ в отечественную программу.

Литература

1. «Computer Codes for Level 1 Probabilistic Safety Assessment», IAEA-TECDOC-553, Vienna, 1990. – 104 с;
2. www.riskspectrum.com;
3. www.saphire.inl.gov;
4. Бахметьев А.М., Самойлов О.Б., Усынин Г.Б. Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ // Библиотека эксплуатационника АЭС. Вып. 23. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 136 с.

Поступила в редакцию 3.03.2008

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.526

The problems of an Improvement of Fast Neutrons Reactors \O.D. Kazachkovsky; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 8 pages. – References – 3 titles.

The question on creation of fast neutrons reactors of the second-generation, working on a closed fuel cycle, is considered. The measures on essential improvement of their technical and economic characteristics are offered. Most radicals of them – use a gaseous dynamic power cycle and refusal of an intermediate contour of the heat-transfer. The advantages of use of dry methods, and in particular pyroelectrolitics of processing of the irradiated fuel are shown. It is taken into account as well an increase of the requirements on non-distribution of nuclear materials.

УДК 621.039.58

Consideration of Aging Effect in Reliability and Safety Analysis of NPP Equipment Functioning \A.V. Antonov, A.A. Polyakov, A.N. Rodionov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 11 pages, 3 tables, 9 illustrations. – References – 5 titles.

The paper presents method of accounting equipment aging. Positive trend of rate of failures in time is identifies by statistical methods based on operating information. Calculates punctual and interval estimation parameters of rate of failures trend. Evaluation of statistical magnitude for trend parameters is performed. Invented method a illustrated by example of analysis rate of failures for one of pumping equipment aggregate of nuclear power unit.

УДК 621.039.58

Impovement of Software for Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Installations \A.M. Bakhmetiev, I.A. Bylov, A.V. Dumov, A.S. Smirnov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 8 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References – 4 titles.

Development of complicated logical-and-probabilistic model of nuclear installation during probabilistic safety assessment performance and subsequent model research are impossible without of appropriate software. In this article review of software packages using now for probabilistic safety assessment of nuclear power objects is implemented. Here is presented a brief description of CRISS software package which is the first domestically produced software applied in practice of probabilistic safety assessment of nuclear installations.

Here are presented main directions of improvement of CRISS software package: realizing of software on a «client-server» network architecture based on «Oracle» database management system with regulation of users rules, enhancing of software functionality, extension of models using for qualitative analysis, adding of block for failure modes and effects analysis, quality assurance during software using and automatized import of models developed by similar software.

УДК 621.039.564.5

Design of the Humidity Leak Monitoring System (HLMS) of Water Coolant \S.A. Morozov, S.N. Kovtun, P.A. Dvornikov, A.A. Budarin, A.A. Kudryaev, F.V. Kondratovich, V.P. Polionov, A.G. Portyanoy, N.P. Konoplev; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 6 pages, 2 illustrations. – References – 4 titles.

The description of the first domestic humidity system of diagnosing leaks in the pipelines of the main circulation circuit of WWER-1000 reactor installations is presented in the article.

The structure, functions and technical characteristics of the system are described.

The results of testing the presentation component of the system at the facility-simulator of leaks are presented that verifies the ability of the system to assure the Leak-Before-Break (LBB) concept at RI WWER-1000.