

О СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ УСТАНОВКИ БН-600*

А.М. Бахметьев, Ю.Л. Каманин, Ю.А. Макеев, Л.А. Попов

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



Представлено состояние дел с разработкой системы мониторинга надежности и безопасности ядерной установки БН-600. Изложены цели создания системы, содержание основных ее элементов, характеристика разработанной компьютерной базы данных. Приведены некоторые результаты статистического анализа опыта эксплуатации установки.

ВВЕДЕНИЕ

Важное значение для обеспечения надежности и безопасности имеет авторский надзор на всех стадиях жизненного цикла ядерной установки (ЯУ), в рамках которого проводится обобщение опыта эксплуатации, причин имевших место нарушений, и при необходимости выработка дополнительных мер по совершенствованию оборудования и процесса эксплуатации установки. Необходимость проведения указанных работ определена нормативной документацией.

В соответствии с требованиями ОПБ-88/97 [1] при эксплуатации атомной станции (АС), необходимо обеспечить сбор, обработку, анализ и систематизацию информации об отказах элементов систем, важных для безопасности. Согласно РБ-030-04 [2], необходимо проводить анализ опыта эксплуатации энергоблоков АС, который должен включать в себя такие задачи, как оценка работы блока (на основании эксплуатационных показателей, характеризующих безопасность, устойчивость работы энергоблока и его способность производить электрическую энергию), оценка нарушений в работе энергоблока (с целью выявления негативных тенденций), оценка надежности оборудования и систем безопасности. По НП-017-2000 [3] при продлении срока эксплуатации энергоблока АС необходимо обеспечить управление и контроль надежности (ресурса) оборудования, реализацию мер по увеличению остаточного ресурса, совершенствование процесса эксплуатации с точки зрения надежности и безопасности.

Для выполнения этих требований ОКБМ в рамках совершенствования авторского надзора установки БН-600 разрабатывает с использованием современных информационных технологий систему мониторинга надежности и безопасности установки.

В статье сформулированы основные положения системы мониторинга, дана характеристика разработанной информационно-поисковой системы, необходимой для под-

© А.М. Бахметьев, Ю.Л. Каманин, Ю.А. Макеев, Л.А. Попов, 2006

* Доклад представлен на IX Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров» (г. Обнинск, 24-28 октября 2005 г.)

держки процесса сбора и анализа эксплуатационных данных, представлены некоторые результаты анализа опыта эксплуатации установки БН-600.

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Разрабатываемая система мониторинга представляет собой постоянно действующую человеко-машинную систему, включающую в себя

- сбор информации в определенном формате;
- создание компьютерной базы данных;
- анализ статистических данных;
- выработку рекомендаций по результатам анализа;
- анализ эффективности внедряемых мероприятий.

Данные по опыту эксплуатации установки БН-600 направляются в ОКБМ эксплуатирующей организацией, а также собираются специалистами ОКБМ в процессе авторского надзора. Перспективной является организация электронного обмена данных по установленному формату.

Создание компьютерной базы данных по нарушениям в работе установки, наработкам и отказам отдельного оборудования, а также ряду дополнительной информации осуществляется с использованием специально разработанной информационно-поисковой системы (ИПС) «Источник», характеристика которой будет представлена ниже.

Целью анализа статистических данных является оценка показателей надежности оборудования, важного для безопасности, показателей надежности реакторной (ядерной) установки, индикаторов безопасности и тенденций их изменения с целью своевременного обнаружения предшественников неблагоприятных событий или изменений процесса эксплуатации. В числе показателей надежности рассматриваются для оборудования – интенсивность отказов, вероятность отказа на требование, для установки – коэффициент использования мощности и ряд других. В качестве индикаторов безопасности анализируются число срабатываний аварийной защиты за определенный период времени, число отключений петель теплоотвода, количество отказов важного для безопасности оборудования. Прорабатывается возможность расширения номенклатуры анализируемых индикаторов.

По результатам анализа разрабатываются рекомендации по техническим и организационным мерам повышения надежности и безопасности эксплуатации оборудования и установки в целом, а также по вопросам продления срока их эксплуатации. Результаты анализа опыта эксплуатации и рекомендации отражаются в ежегодных отчетах.

ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА «ИСТОЧНИК»

С целью автоматизации ряда процедур (накопление, хранение, первичная обработка информации) в составе системы мониторинга надежности и безопасности установки БН-600 используется информационно-поисковая система «Источник». ИПС «Источник» разработана на основе среды программирования Microsoft Visual Basic 6.0. База данных ИПС «Источник» располагается на сервере локальной сети предприятия под управлением СУБД Oracle, клиентская часть программы устанавливается на ПЭВМ пользователей (архитектура «клиент–сервер»). ИПС позволяет накапливать информацию:

- по нарушениям в работе ядерной установки;
- по готовности ядерной установки к работе по прямому назначению;
- по наработкам, отказам, показателям надежности оборудования.

Предусмотрена ее первичная обработка (вычисление наработок, числа и интенсивности отказов оборудования, построение трендов числа отказов оборудования по годам эксплуатации, вычисление показателей надежности установки в целом и ряд других). Кроме этого, предусмотрена возможность осуществления поиска требуемой информации, считывания данных и копирования их из базы данных в стандартные приложения Microsoft Office для подготовки отчетной документации.

Раздел по нарушениям в работе ЯУ обеспечивает возможность введения и хранения детальной информации по каждому отдельному случаю нарушения (рис. 1). Предусматривается также систематизация информации по количеству автоматических и ручных срабатываний АЗ, случаев ложного введения защиты, контролируемых остановов за определенный период. Обеспечивается введение и наглядное представление информации по количеству нарушений в работе защитных, локализирующих, обеспечивающих и управляющих систем безопасности. По каждому такому случаю предусмотрена возможность указать подробную информацию о времени, характере и причинах нарушения.

В разделе по готовности ЯУ обеспечивается систематизация детальной информации (рис. 2) по каждому отдельному случаю останова или снижения мощности. Выполняется обобщение указанной информации за определенный период с представлением показателей надежности, характеристик по плановым и внеплановым простоям установки (см. рис. 3).

Раздел по надежности оборудования предусматривает возможность введения и хранения истории эксплуатации (в т.ч. наработок, информации об отказах) по каждой единице оборудования (рис. 4). Предусмотрена возможность получения интегральной информации по всему оборудованию определенного типа за рассматриваемый период с представлением его краткой характеристики (марки, завода-изготовителя, периодичности ремонтов и др.), суммарной наработки, информации о количестве отказов и показателях надежности.

Детальные характеристики. Нарушения в работе ядерных установок.

Белоярская АЭС-3(BN-600)

Страна РоссияПроектировщик

Дата ввода в эксплуатацию 08.04.1980

Номер отчета	Дата и время нарушения	Дата и время вывода на мощность	Описание нарушения, меры безопасности	Причины нарушения	Последствия	Ист. инф.
инв.№8818102	13.11.1999 00:00:00		Автоматическое отключение петли. Самопроизвольное срабатывание блокировок при расхождении стопорного клапана 4ЦВД-А	Непосредственная. Неправильное положение реле (ошибка персонала) Ошибка персонала (начальника смены) при осмотре реле	Отключение петли №4 на 27 часов, недовыработка электроэнергии	72
инв.№825567	24.01.2000 00:00:00		Отключение ТТ-4. Автоматическое отключение петли	Неправильные действия обслуживающего персонала при проверке работоспособности защиты ТТ-4 по снижению уровня масла в демпферном баке и выполнении работ по устранению причин	Недовыработка электроэнергии	79

Источник информации: Опыт эксплуатации реактора БН-600 на II блоке БАЭС в 2000 г. Отчёт по ОКР инв. № 825567. ОКБМ, 2001 г.

Уроки и рекомендации:

Добавить записьУдалить запись

СохранитьОтменаКопировать

Рис. 1. Детальные характеристики раздела «Нарушения в работе ЯУ»

Детальные характеристики

Белоярская АЭС-3(БН-600)
ДЕТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Дата ввода в эксплуатацию 09.04.1980 Дата вывода из эксплуатации

Начало временного периода	Конец временного периода	Дата и время останова/снижения уровня мощности	Тип события	Продолжительность простоя/работы на сниженной мощности, ч	Причина непланового останова/снижения уровня мощности	Перечень и продолжительность работ, выполняемых во время ремонта	Дата и время вывода на установленную мощность	Уровень сниженной мощности, в % от установленной мощности	Ист. инф.
01.1996	01.1997	12.06.1996 00:00	С	40	Течь водорода в системе охлаждения генератора 4.	Отключение петли и устранение дефекта.	14.06.1996 00:00	66	74
01.1996	01.1997	05.10.1996 00:00	П	432	Останов на перегрузку и плановый ремонт	Перегрузка топлива; Устранение дефектов на оборудовании, обнаруженных при техническом освидетельствовании; Средний ремонт ТГ-6 и	23.10.1996 00:00	0	75

Источник информации: Опыт эксплуатации реактора БН-600 на III блоке БАЭС в 1996 г. Отчет по ОКР инв. № 804352, ОКБМ, 1997 г.

Примечание:

Добавить запись Удалить запись Сохранить Отмена Копировать

Рис. 2. Детальные характеристики раздела «Готовность»

Интегральные характеристики

Белоярская АЭС-3(БН-600)

Источник информации: Опыт эксплуатации реактора БН-600 на III блоке БАЭС в 1999 г. Отчет по ОКР инв. № 810102, ОКБМ, 2000 г.

	01.1994	01.1995	01.1996	01.1997	01.1998
Начало временного периода	01.1994	01.1995	01.1996	01.1997	01.1998
Конец временного периода	01.1995	01.1996	01.1997	01.1998	01.1999
Коэффициент использования установленной мощности	78,2	70,3	76,3	73	47,9
Коэффициент технического использования	79,4	79,4	79,8	75,3	50
Коэффициент готовности	1	1	1	1	1
Время неплановых простоев, ч	0	0	0	0	0
Доля неплановых простоев	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Время плановых простоев, ч	1781	1735	1775	2160	4368
Доля плановых простоев	2,03E-01	1,98E-01	2,02E-01	2,47E-01	4,99E-01
Неплановые аварийные остановки блока на 7000 ч работы	0	0	0	0	0
Источник информации	73	74	75	76	77

Примечание:

Добавить запись Удалить запись Сохранить Отмена Копировать

Рис. 3. Интегральные характеристики раздела «Готовность»

В настоящее время в ИПС «Источник» созданы базы данных по надежности оборудования реакторной установки БН-600 за периоды с начала эксплуатации энергоблока по 2004 г., по нарушениям в работе установки, включая информацию по неплановым случаям отключения петель и срабатываниям АЗ реактора, формируются базы данных по надежности оборудования систем безопасности и ряд др.

Детальные характеристики

НАСОС (БЕЗ ПРИВОДА)
ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ

Компонент: PWD_R_S_BN_P

Марка: sp.81

Завод-изготовитель: ОКЕМ

☒ наработка до отказа, ч

☐ число отказов наработку

Заводской номер	Дата ввода в эксплуатацию (монтаж)	Дата вывода из эксплуатации (демонтаж)	Дата отказа (повреждения)	Наработка до отказа (цензурирования), ч	Характер отказа	Причина отказа (повреждения, цензурирования)	Последствия и принятые меры	Время восстановления работоспособного состояния, ч	Примечание	Ист. инт.
Г-232	01.05.1987		29.12.2002	13303		Демонтаж в связи с заключением из-за нарушений персоналом станции условий эксплуатации			Работа в составе ГЦН-2 с 05.2001 по 12.2002 (установлено во второй раз)	80
Г-246	01.04.1980			70370		Демонтаж для капремонта (выработка назначенного ресурса)			Работа в составе 4ГЦН-2 с 04.1980 по 03.1989 (установлено в первый раз)	83
				86167					Работа в составе 5ГЦН-2 с 05.1993 (во второй раз) наработка указана на 12.2003	34
				55454		Демонтаж для капремонта (выработка)			Работа в составе 6ГЦН-2 с 04.1980 по 05.1987 (в запасе)	85

Источники информации:

83. Опыт эксплуатации реактора БН-600 на II блоке БАЭС в 1989 г. Отчет по ОКР инв. № 3735 ДСП ОКЕМ, 1989 г.

Добавить заводской номер

Удалить заводской номер

Добавить запись

Вставить запись

Удалить запись

Сохранить

Отмена

Рис. 4. Детальные характеристики раздела «Надежность оборудования»

АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ БН-600

За последние 12 лет эксплуатации установки БН-600 (1993–2004 гг.) имели место три случая останова реактора по алгоритму быстрой аварийной защиты (в том числе два автоматических останова и один выполнен персоналом станции), что в расчете на 7000 ч работы реактора составило менее 0,3. Указанное значение лучше аналогичных показателей, характерных для АЭС стран мира (от 0,6 до 0,9 за 2000–2003 гг.) [4], и с запасом удовлетворяет современным требованиям пользователей, предъявляемым к усовершенствованным реакторам (не более 1 на 7000 ч работы реактора).

За тот же период эксплуатации имело место 18 отключений одной петли теплоотвода со снижением мощности реактора, т.е. происходило в среднем 2 отключения петель в каждые три года.

Большинство таких событий (44%) были вызваны отказами оборудования систем электроснабжения (турбогенераторы ТГВ-200-2МУЗ по причине течи водорода в системе охлаждения и др. [5]). Также имели место отключения петель вследствие отказов систем теплоотвода второго и третьего контуров, связанные в основном с неисправностями и дефектами натриевой и пароводяной арматуры парогенератора (33%). С ошибками персонала было связано 17% событий.

Распределение числа отключений петель теплоотвода по годам эксплуатации представлено на рис. 5, из которого видно, что тенденции к росту их числа нет.

Отключения теплоотводящих петель не привели к существенному снижению среднего уровня мощности блока. Относительная недовыработка электроэнергии при этом невелика и для последних 5 лет эксплуатации установки (1999–2004 гг.) составила от 0,24 до 0,65%, что обусловлено сравнительно небольшой продолжительностью указанных состояний.

Был проведен анализ показателей надежности ЯУ в целом. Изменение коэффициента использования мощности (КИМ) установки за последние 10 лет представлено на рис. 6.

Среднегодовой коэффициент использования мощности установки за рассматриваемый период, в основном, находится в диапазоне от 70 до 80%. Минимальное зна-

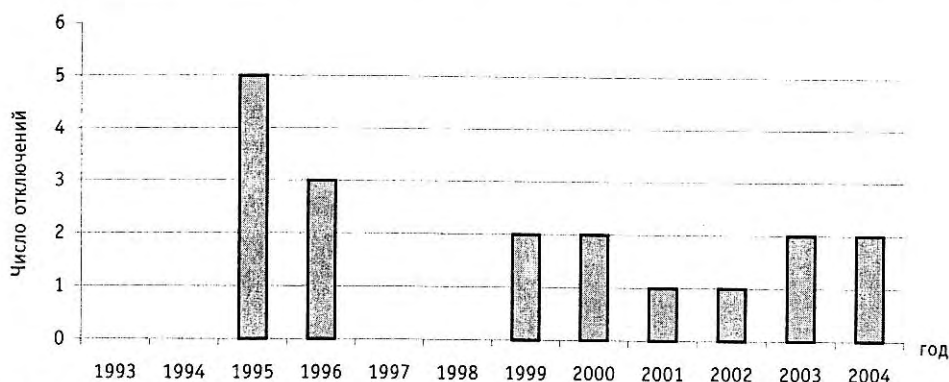


Рис. 5. Распределение числа отключений петель теплоотвода по годам эксплуатации

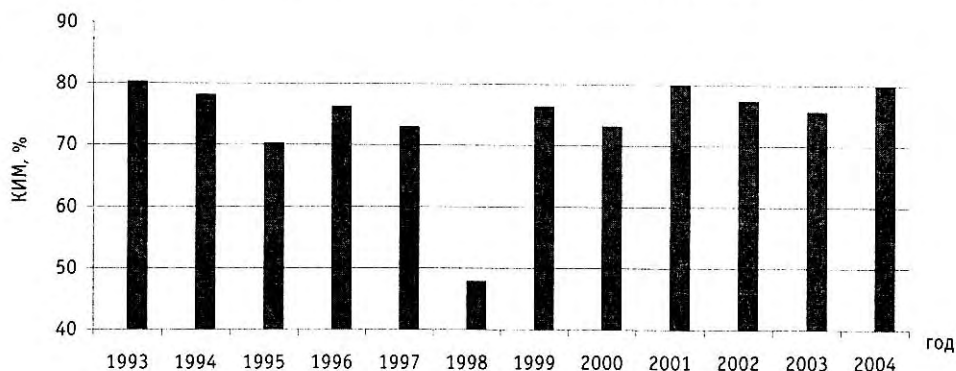


Рис. 6. Распределение КИМ (%) по годам эксплуатации

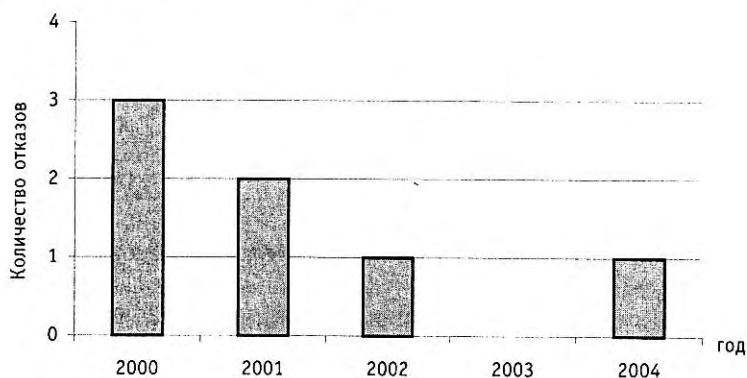


Рис. 7. Распределение отказов оборудования реакторной установки по годам эксплуатации

чение КИМ имело место в 1998 г. и обусловлено продолжительным простоем из-за непланового ремонта центральной поворотной колонны. Среднее значение КИМ установки БН-600 за последние годы (период с 2000 по 2004 гг.) составило ~77%. Величина относительной недовыработки электроэнергии БН-600 на ~90% определяется продолжительностью плановых простоев, обусловленных проведением работ по техобслуживанию, ремонту и замене крупногабаритного оборудования, включая турбогенераторы, главные циркуляционные насосы (ГЦН), модули парогенераторов и т.п., и перегрузкой топлива. Анализ потерь КИМ из-за неплановых остановов представлен в [5].

Систематизированы случаи отказов оборудования реакторной установки, включая реактор, исполнительные механизмы системы управления и защиты, главные циркуляционные насосы первого и второго контуров, промежуточные теплообменники, парогенераторы, оборудование систем очистки натрия первого и второго контуров. Диаграмма распределения отказов указанного оборудования за период 2000 – 2004 гг. представлена на рис. 7.

За рассмотренный период имели место отказы электропривода ГЦН-1, гидропривода обратного клапана ГЦН-1, выемной части ГЦН-2, сельсин-датчиков исполнительных механизмов СУЗ и один отказ стержня КС. Тенденции к росту числа отказов указанного оборудования не наблюдается.

Выполнено обобщение и статистический анализ данных по наработкам и отказам оборудования установки БН-600. Результаты оценки показателей надежности отдельного оборудования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели надежности отдельного оборудования установки БН-600

Тип оборудования	Вид отказа	Интенсивность отказов (вероятность отказа на требование)
ИМ АЗ	Невведение стержней в активную зону	4,0Е-04 1/треб.
ИМ РС	Неперемещение стержня	2,4Е-06 1/ч
ИМ КС	Невведение стержней в активную зону	0,72Е-03 1/треб.
	Отказ индикации положения штанги	0,62Е-06 1/ч
ГЦН-1 в целом (выемная часть, уплотнение вала по газу, электропривод)	Останов при работе	1,3Е-05 1/ч
ГЦН-2 в целом (выемная часть, уплотнение вала по газу, электропривод)	Останов при работе	0,62Е-05 1/ч
Промежуточный теплообменник	Межконтурная течь	0,7 Е-06 1/ч
Парогенератор	Большая межконтурная течь	0,68Е-05 1/ч
	Малая межконтурная течь	1,4Е-05 1/ч
Фильтр-ловушка	Негерметичность	4,7Е-07 1/ч

Определялись точечные оценки интенсивности отказов (вероятности отказа на требование). В случае отсутствия отказов оценивался 60-процентный квантиль соответствующего показателя.

Выполненный анализ показал, что в процессе эксплуатации установки принимались технические и организационные меры, которые позволили устранить большинство отказов, имевших место на ранних этапах эксплуатации. Для отдельных отказов, проявившихся в последние годы работы установки, выявлены причины и приняты меры по предотвращению аналогичных отказов в дальнейшем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Дана характеристика разрабатываемой системы мониторинга надежности и безопасности установки БН-600.

2. Представлена ИПС «Источник», предназначенная для автоматизации создания баз данных по надежности и безопасности установки, по надежности отдельного оборудования для оперативного обеспечения специалистов исходной информацией при проведении анализа опыта эксплуатации установки и оборудования, выработки рекомендаций по совершенствованию процесса их эксплуатации.

3. С использованием ИПС созданы базы данных по надежности оборудования реакторной установки БН-600 за весь период ее эксплуатации, по нарушениям в работе установки, включая информацию по неплановым случаям отключения петель и срабатывания АЗ реактора, формируются базы данных по надежности оборудования систем безопасности и ряд других.

4. Количество остановов реактора по алгоритму БАЗ в расчете на 7000 ч работы за последнее десятилетие составило менее 0,3, что лучше показателей, характерных для АС стран мира и с запасом удовлетворяет требованиям, предъявляемым к усовершенствованным реакторам. Тенденции к росту количества отключений теплоотводящих петель реакторной установки за период 2000–2004 не наблюдается. Среднегодовой КИМ установки в основном находился за период 1993–2004 в диапазоне от 70 до 80%, среднее значение за период 2000–2004 гг. составило ~77%.

5. Выполнена оценка показателей надежности оборудования реакторной установки. Тенденции к росту количества отказов указанного оборудования за период 2000–2004 гг. не наблюдается.

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97 НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97). – М.: Изд-во «Межрегиональный центр отраслевой информатики Госатомнадзора России», 1998.
2. Анализ опыта эксплуатации при продлении срока эксплуатации блока атомной станции РБ-030-04. – М.: Федеральная служба по атомному надзору, 2004.
3. Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции (НП-017-2000). – М.: Госатомнадзор России, 2000.
4. Показатели работы АЭС. Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих атомные электростанции (WANO), 2003.
5. Ошканов Н.Н., Баканов М.В., Говоров П.П. О коэффициенте использования установленной мощности энергоблока БН-600 за 25 лет эксплуатации // Электрические станции. – 2005. – №5. – С. 15–19.

Поступила в редакцию 10.02.2006

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

On the Problem of System Investigation of Nuclear Plant Safety using Probabilistic Methods \A.M. Bakhmetiev, I.A. Bylov; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 9 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 13 titles.

Approaches to methodical support, program complexes, organizational procedures for system safety investigation of different type and purpose plants with the help of probabilistic methods are stated.

УДК 621.039.58

On the System of BN-600 Power Unit Safety and Reliability Monitoring \A. Bakhmetiev, J. Kamanin, J. Makeev, L. Popov; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 8 pages, 7 illustrations, 1 table. – References, 5 titles.

Status of BN-600 plant reliability and safety monitoring system development is presented. Goals of system creation, contents of its main elements, characteristics of developed computer database are stated. Some results of statistic analysis of plant operating experience are given.

УДК 621.039.58

Steam Generator Heat-Exchange Tubes Contamination Analysis and Inter-Washing Period Estimation using Diffusion Process Method \O.M. Gulina, K.A. Kornienko, M.N. Pavlova; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 5 pages, 2 illustrations, 2 tables. – References, 5 titles.

Periodical washing of SG heat-exchange tubes delays the rate of local corrosion processes and is one of the ways of lifetime management. Was approximated statistical dependence of number of muffled tubes from the height of tubes lattice and from specific contamination. Was developed an equation of non-linear up growth for specific contamination. Values of SG inter-washing period for different levels of contamination with approximation results were calculated using diffusion processes theory methods.

УДК 621.039.534

The Investigation of the Acoustic Level Limit Switch of Water Boiling Coolant \V.I. Melnikov, V.V. Ivanov, V.N. Chocklov, A.V. Dunzev, E.A. Semenov, Y.A. Kiselev, A.N. Sinicin, I.N. Kiselev, A.V. Belin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 8 pages, 7 illustrations. – References, 4 titles.

The acoustic probe system for a level and amount of liquid phase analysis into control volume on examination of a vapor distribution along the height has been studied.

The principle of function of the probe is based on the determination of an amplitude of ultrasound signals. Vapor phase is indicated according to significant reduction of the amplitude of ultrasound impulses, if vapor bubbles put into control volume.

The waveguides probes operating in frequency band near 600kHz are placed in the transducer; the pulse recurrence frequency is 800Hz.

The measuring system by computer PC controls the service of electronic bloc and it makes possible the experimental data processing.

The acoustic probe system allows to determinate the state of phase into 8 local volumes by probes placed along the height of vessel and to study dispersing properties of the vapor liquid water mixture.

The testing of the level gage has carried out by air-lift system at normal temperature and pressure and by special stand high pressure conditions, where the boiling process of coolant is initiated by depressurization of stand.