

КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА БН-600

Н.Н. Ошканов, А.И. Карпенко, П.П. Говоров, А.А. Кузнецов
Белоярская АЭС, г. Заречный



В статье рассматривается вариант концепции оценки безопасности энергоблока БН-600 Белоярской АЭС. Предлагается оценивать как текущее состояние блока (контроль целостности физических барьеров, контроль пределов и условий безопасной эксплуатации), так и прогноз возможных изменений в состоянии блока с учетом текущих значений технологических параметров и режимов работы оборудования.

Целью данной работы является разработка концепции оценки безопасности действующего энергоблока БН-600 Белоярской АЭС, наглядное представление результатов такой оценки и автоматизация самого процесса оценки безопасности.

Оценку безопасности предполагается проводить в двух направлениях:

- оценка текущего состояния энергоблока, включающая в себя контроль целостности физических барьеров на пути распространения активности и контроль пределов и условий безопасной эксплуатации;
- прогноз состояния энергоблока с учетом текущих значений технологических параметров и режимов работы оборудования.

КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ

Система физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения применительно к энергоблоку БН-600 включает в себя:

- топливные матрицы («таблетки»);
- оболочку тепловыделяющего элемента (нержавеющая сталь);
- границы контура теплоносителя (корпус реактора, трубопроводы и оборудование первого контура за пределами реактора);
- герметичное ограждение локализирующих систем безопасности (страховочный кожух реактора, кожух оборудования и трубопроводов первого контура за пределами реактора);
- шахту реактора, верхнюю неподвижную защиту (ВНЗ).

Контроль целостности при использовании имеющихся технических и методических средств возможен таким образом:

1-2 барьеры. При использовании имеющихся технических и методических средств возможен только качественный контроль целостности. Сложность реализации количественного контроля обусловлена следующим: в ПБЯ РУ АС-89 эксплуатационный предел повреждения твэлов составляет 0,05% твэлов с газовой неплотностью и 0,005% твэлов с прямым контактом топлива с теплоносителем (предел безопасной

эксплуатации соответственно 0,1% и 0,01%). Определить количество поврежденных твэлов в настоящее время практически невозможно, т.к. определяется лишь характер дефекта – нарушение первого и второго барьеров (появление запаздывающих нейтронов), либо нарушение только второго барьера (рост активности аргона в газовой полости реактора (ГПР)). Тем не менее величины удельной активности газа в ГПР и скорости роста запаздывающих нейтронов позволяют контролировать целостность первого и второго барьеров.

3-й барьер. Корпус реактора – контроль целостности возможен по повышению давления аргона и по появлению аэрозолей натрия в страховочном кожухе.

4-й барьер. Страховочный кожух реактора – контроль целостности возможен по уменьшению давления аргона в полости.

Контроль целостности оборудования и трубопроводов первого контура, а также их кожухов возможен по объемной активности газа и мощности дозы в различных помещениях и на оборудовании первого контура.

5-й барьер. Контроль целостности пятого барьера возможен по изменению мощности дозы гамма-излучения под колпаком реактора, в выгородках ГЦН-1 и в центральном зале.

Таким образом, на энергоблоке БН-600 имеется возможность оперативного контроля состояния всех пяти физических барьеров безопасности. Наглядная схема контроля представлена на рис. 1.

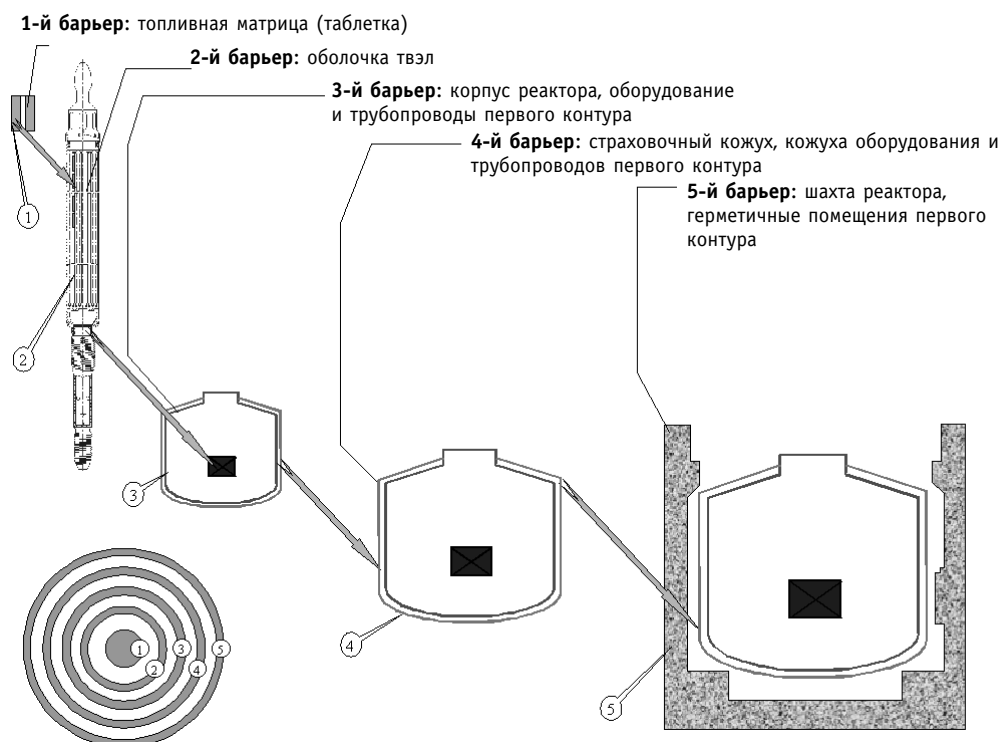


Рис.1. Схема представления информации о текущем состоянии барьеров безопасности энергоблока БН-600

КОНТРОЛЬ ПРЕДЕЛОВ И УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В проекте атомной станции закладываются определенные рамки и ограничения с точки зрения безопасности, и атомная станция должна эксплуатироваться в рамках этих ограничений, сформулированных в виде:

- пределов безопасной эксплуатации – установленных проектом значений технологических параметров и характеристик состояния систем и оборудования, отклонение от которых может привести к аварии;

- условий безопасной эксплуатации – установленных проектом минимальных требований к количеству, состоянию работоспособности, характеристикам и техническому обслуживанию систем и оборудования, важных для безопасности, и при которых обеспечивается соблюдение пределов безопасной эксплуатации.

Соблюдение установленных пределов и условий безопасной эксплуатации гарантирует защиту от повреждений и сохранение работоспособности физических барьеров безопасности.

Основным документом, устанавливающим конкретные пределы и условия безопасной эксплуатации, является технологический регламент эксплуатации энергоблока.

Некоторые пределы и условия безопасной эксплуатации применительно к энергоблоку БН-600 Белоярской АЭС

1. Пределы безопасной эксплуатации:

- расчетная мощность одной тепловыделяющей сборки (ТВС) зоны большого обогащения – не более 4,7 МВт;
- номинальная линейная нагрузка на твэлы штатных ТВС – не более 48 кВт/м.

2. Условия безопасной эксплуатации:

- работоспособность систем, важных для безопасности (реактор и система теплоотвода первого, второго, третьего контуров, вспомогательные системы первого контура по натрию и газу, система контроля и управления и т.д.);
- работоспособность быстродействующей аварийной защиты (БАЗ).

Технологические параметры энергоблока БН-600 позволяют прямо или косвенно контролировать соблюдение пределов и условий безопасной эксплуатации, т.е. имеется возможность наглядного представления о их текущем состоянии. Пример схемы представления информации о текущем состоянии соблюдения пределов и условий безопасной эксплуатации показан на рис. 2.

Значения технологических параметров и состояние оборудования, определяющие соблюдение пределов и условий безопасной эксплуатации, представляются на едином поле в виде некоторой кривой (см. рис. 2). В нижней части поля расположен символ объединенного критерия текущего состояния безопасности, представляющего собой некий параметр, изменяющийся при нарушении хотя бы одного предела или условия безопасной эксплуатации.

Такая схема представления информации о выполнении пределов и условий безопасной эксплуатации пригодна для реализации в виде компьютерной программы при разработке соответствующей методики.

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА С УЧЕТОМ ТЕКУЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Задачу прогноза изменений состояния энергоблока БН-600 можно реализовать путем математического моделирования протекания нежелательных с точки зрения безопасности физических процессов при возникновении каких-либо исходных событий, а также прогноза перетекания этих процессов в нарушения нормальной эксплуатации, предаварийные ситуации и аварии. Такое моделирование необходимо проводить с использованием «Вероятностного анализа безопасности энергоблока с реактором БН-600». Реализация процесса моделирования возможна после создания библиотеки нежелательных процессов, возможных нарушений нормальной эксплуатации, предаварийных ситуаций и аварий с использованием логического аппарата и вычислением вероятностей событий по тем или иным ветвям логического процесса.

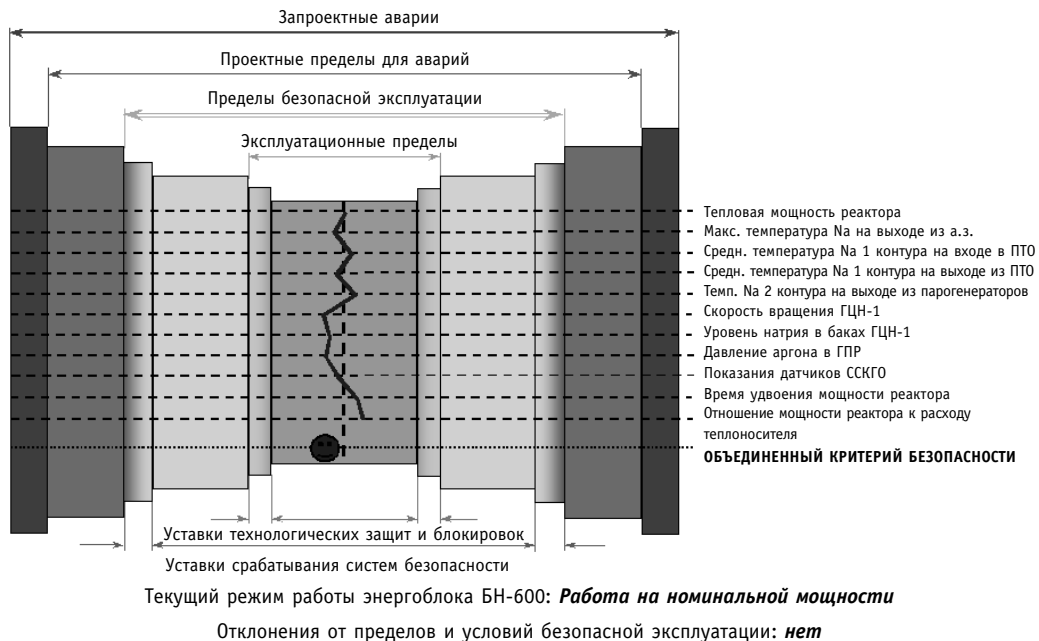


Рис.2. Пример представления информации о текущем состоянии соблюдения пределов и условий безопасной эксплуатации

Технически такой процесс моделирования может быть реализован в виде экспертной системы.

В качестве исходных событий необходимо рассматривать изменения значений технологических параметров энергоблока, превышающие известные погрешности средств измерений этих параметров, а также изменения дискретных и инициативных параметров, характеризующих состояние запорной арматуры, включения/отключения насосов, вентиляторов и т.п. Точность прогноза возможных будущих изменений состояния энергоблока будет напрямую зависеть от объема исходной информации (параметры энергоблока, состояние оборудования и т.п.), а также от наличия или отсутствия подсистемы диагностики информационных каналов.

В качестве примера на рис. 3 представлена упрощенная логическая последовательность вероятных событий, которые могут быть вызваны изменением показаний уровнемера в одном из ГЦН второго контура (исходное событие).

На рис. 3 представлена логическая последовательность возможных событий, вызванных возможными изменениями тех или иных параметров, зависящих от рассматриваемого исходного события. Кроме того, в рассматриваемом примере предусмотрена возможность диагностики средств измерений (уровнемеров). Конечная цель анализа изменений технологических параметров – определение собственно исходного события (терминология в данном случае – согласно «Вероятностного анализа безопасности...»). В приведенном примере в качестве такого исходного события рассматривается нарушение межконтурной плотности промежуточного теплообменника (ПТО). Далее показаны возможные варианты развития такого исходного события и их влияние на безопасность энергоблока в целом. Самый неблагоприятный вариант в данном примере – отказ системы аварийного отвода тепла с потерей всех каналов теплоотвода, т.е. невыполнение одной из трех фундаментальных функций безопасности. В этом случае происходит повреждение активной зоны (см. рис.3).

Вероятности наступления того или иного конечного состояния энергоблока при рассматриваемом исходном событии – задача отдельного исследования и в данной

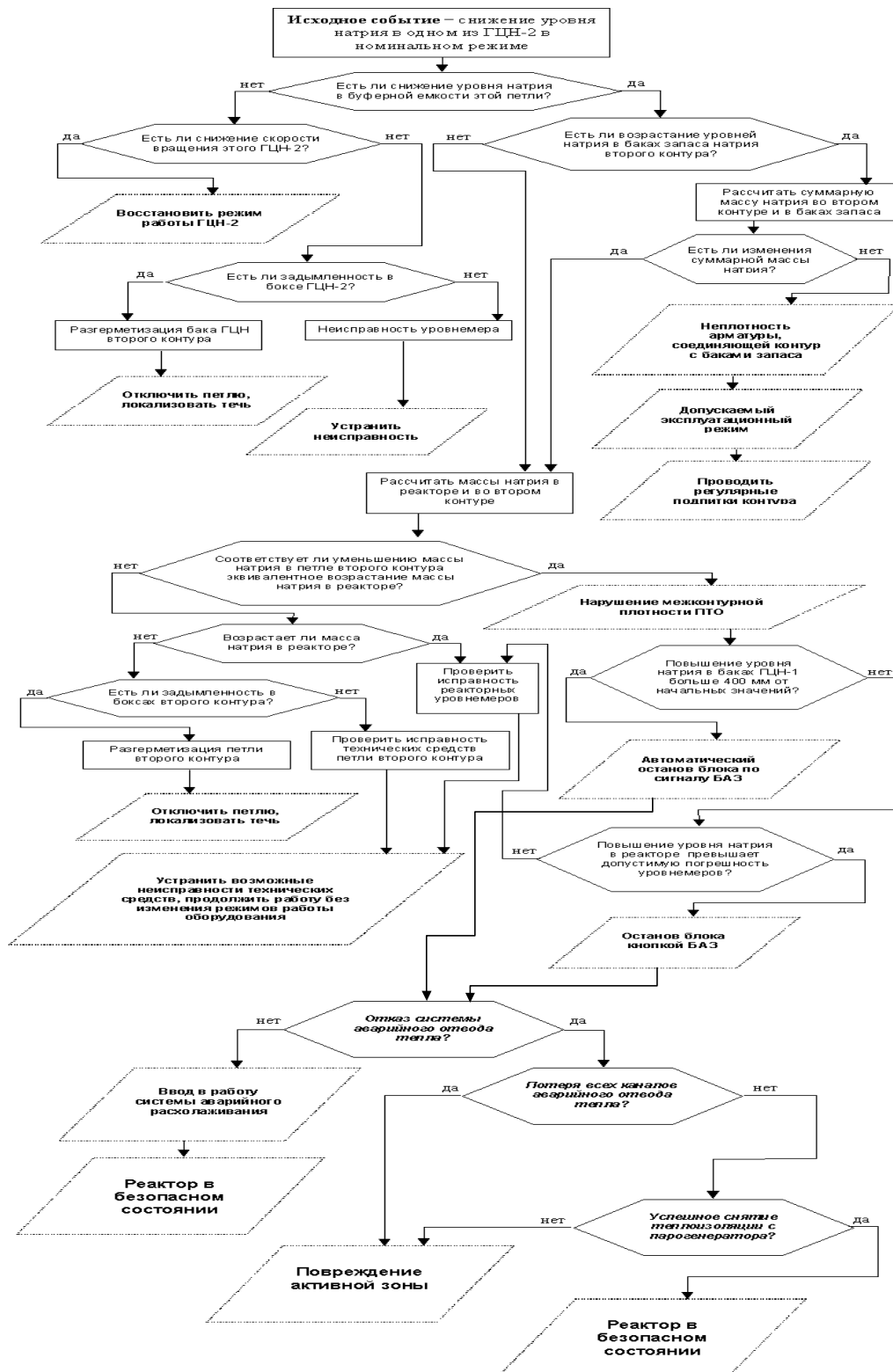


Рис.3. Возможные конечные состояния энергоблока при наступлении заданного исходного события

работе не рассматривается.

При создании экспертной системы, реализующей такой прогноз вероятных последствий изменений технологических параметров, необходим учет как можно большего количества параметров, в том числе параметров работы вспомогательного, обеспечивающего и т.п. оборудования (например, параметры дистиллятных и маслосистем насосов). Кроме того, необходим анализ всех возможных ветвей, приводящих к тем или иным конечным состояниям (в рассмотренном примере на рис.3 – это течи натрия, отключения петли) с определениями вероятностей наступления различных конечных состояний.

ВАРИАНТ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассматривается вариант представления результатов оценки безопасности применительно к лицам, имеющим непосредственные возможности для влияния на безопасность (оперативный персонал энергоблока атомной станции).

При разработке формы представления результатов оценки безопасности необходим учет следующих моментов:

- результат оценки должен быть представлен в виде некоего наглядного, интуитивно понятного образа;
- этот образ должен вызывать у оператора совершенно четкие ассоциации о текущем и прогнозируемом состоянии безопасности энергоблока;
- при нормальном текущем и прогнозируемом уровне безопасности образ должен быть естественным дополнением обстановки, окружающей оператора, т.е. не отвлекать на себя внимания;
- при нормальном текущем, но нежелательном прогнозируемом уровне безопасности образ должен привлекать к себе внимание и побуждать оператора к осмыслению ситуации и принятию соответствующих решений;
- при нарушении пределов и условий безопасной эксплуатации, либо барьеров безопасности состояние образа должно побуждать оператора к быстрому, инстинктивному принятию верного решения.

Вариант такого образа может быть представлен в виде символической точки. При нормальном текущем и прогнозируемом уровне безопасности образ совершает плавные, спокойные перемещения. Общее эмоциональное впечатление от такого образа: с одной стороны – ощущение стабильности и надежности, с другой стороны – ощущение действия, работы, функционирования.

При нормальном текущем, но нежелательном прогнозируемом уровне безопасности скорость перемещений точки по экрану возрастает и точка начинает мигать. Общее эмоциональное впечатление от такого образа – предупреждение о возможной опасности, побуждение к осмысливанию ситуации и планированию действий.

При нарушении пределов и условий безопасной эксплуатации, либо барьеров безопасности скорость перемещений образа по экрану возрастает многократно, цвет точки меняется на густо-красный, пульсирующий, а цвет экрана меняется со спокойного на ядовито-яркий, пульсирующий. Общее эмоциональное впечатление от такого образа – побуждение к немедленным активным действиям.

Для уточнения текущей или прогнозируемой аномалии оператор может «раскрывать» образ по принципу матрешки. Так, верхнему уровню соответствует символ точки, ниже может располагаться слайд контроля целостности барьеров безопасности, еще ниже – слайд пределов и условий безопасной эксплуатации, далее – слайды состояния оборудования и т.д. Конкретный узел (узлы) возникновения или прогнозирования аномалии должны определяться автоматически и соответственно выводиться на экран при запросе оператора.

Для качественного и надежного функционирования системы оценки безопасности необходимо выполнение следующих основных требований.

1. Максимально надежная техническая часть системы.
2. Полное исключение многозадачности и многофункциональности системы (т.е. аппаратная часть должна использоваться только для оценки безопасности).
3. Максимально возможное количество контролируемых параметров энергоблока с обязательной диагностикой средств контроля.
4. Максимально полная библиотека нежелательных с точки зрения безопасности процессов, возможных нарушений нормальной эксплуатации, предаварийных ситуаций и аварий.
5. Анализ всех возможных путей развития отклонений параметров.

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ –88/97. ПНАЭ Г-01-011-97.
2. Безопасность атомных станций: Справочник. - EDF - РОСЭНЕРГОАТОМ - ВНИИАЭС.
3. Технологический регламент эксплуатации энергоблока №3 Белоярской АЭС.
4. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций: ПБЯ РУ АС-89.
5. Проталинский О.М. Система диагностики предаварийных ситуаций//Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 12.

Поступила в редакцию 14.02.2005

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.526: 621.311.22

BN600 Performance Efficiency Evaluation over 25 years of Operation \N.N. Oshkanov, O.A. Potapov, P.P. Govorov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 7 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 5 titles.

The availability of the sodium-cooled fast BN600 reactor power unit over 25 years of operation has been analyzed. The effect of the off-normal equipment operation on the unit availability has been considered.

УДК 621.039.526

BN800 Reactor Beloyarsk 4 Construction \N.N. Oshkanov, Yu.V. Noskov, M.V. Bakanov, N.P. Leontev, A.I. Karpenko; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 3 pages, 1 table.

The role the BN800 reactor power unit plays in developing the nuclear power industry is highlighted. The comparative characteristics of the BN600 and BN800 reactors are given. The innovative design features aimed at BN800 reactor safety improvement as compared to its prototype, i. e. the BN600 reactor, are presented. The current phase of the BN800 construction is considered.

УДК 621.039.526

BN600 Spectrometric Failed Fuel Detection System \V.F. Roslyakov, E.S. Lisitsyn, S.A. Gurev, N.A. Zobnin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 5 pages, 2 illustrations.

The article presents both the existing spectrometric failed fuel detection system designed to record and measure the fission product activity in reactor cover gas and upgraded failed fuel detection system which is based on the state-of-the-art instrumentation and software.

УДК 621.039.526

Justification of the Lifetime Characteristics of the Standard BN600 Reactor Safety Rods \V.A. Zhyoltyshev, E.A. Kozmanov, A.A. Tuzov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 2 illustrations. – References, 4 titles.

The article presents the contents and results of the integrated work in support of extending the lifetime of standard safety rods 1663.000.00 from 365 to 500 efpd. Taking into account the high cost of the enriched boron carbide and sufficient serviceability margin of the safety rods by the physical characteristics of absorber and on the basis of the successful results of their operation and experimental and theoretical studies it was inferred that the safety rod residence lifetime could be extended up to 500 efpd.

УДК 621.039

BN600 Power Unit Safety Evaluation Concept \N.N. Oshkanov, A.I. Karpenko, P.P. Govorov, A.A. Kuznetsov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 7 pages, 3 illustrations. – References, 5 titles.

The article considers the optional concept of the Beloyarsk NPP BN600 power unit safety evaluation. Both the current condition of the unit is proposed to be evaluated (verification of the integrity of physical barriers, surveillance of the limits and conditions of operational safety) and possible changes in the unit condition to be predicted taking into account the current values of the process parameters and equipment operating conditions. The options of the representation of the information both on the current unit condition and its possible change in future are proposed.

УДК 621.039

Secondary-to-Primary Sodium Leak Detection in the BN600 Reactor IHX's \A.A. Kuznetsov, P.P. Govorov, A.I. Karpenko; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 6 pages, 4 illustrations.

The article considers the BN600 reactor IHX secondary-to-primary sodium leak detection method based on the comparison of the results of the calculation of the sodium weights for various periods of time. The choice of the sodium weight as a monitored value has been stipulated by the advantages of the calculated weight value versus the directly measured values. To monitor the density only two values, i. e. weight of sodium in the reactor and secondary sodium weight, are necessary and sufficient to be known.