

КОНТРОЛЬ МЕЖКОНТУРНОЙ ПЛОТНОСТИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ РЕАКТОРА БН-600

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



В статье рассматривается способ контроля межконтурной плотности промежуточных теплообменников энергоблока БН-600, основанный на сравнении результатов расчетов масс натрия за различные моменты времени. Выбор массы натрия в качестве контролируемой величины обусловлен преимуществами рассчитываемой величины массы по сравнению с непосредственно измеряемыми величинами. Для контроля плотности необходимо и достаточно знать всего две величины – массу натрия в реакторе и массу натрия во втором контуре.

ВВЕДЕНИЕ

На энергоблоке с быстрым натриевым реактором используется трехконтурная схема отвода тепла от активной зоны. Теплоносителем первого и второго контуров является жидкий натрий, в качестве рабочего тела в третьем контуре используется перегретый пар, получаемый путем нагрева, последующего испарения и перегрева питательной воды в прямоточных секционно-модульных парогенераторах теплом натрия второго контура.

Избыточные давления сред в рабочих контурах в номинальном режиме работы блока следующие:

- избыточное давление натрия первого контура в промежуточных теплообменниках (ПТО) ~0,03 МПа;
- избыточное давление натрия второго контура на напоре главных циркуляционных насосов второго контура (ГЦН-2) ~0,3 МПа;
- давление питательной воды на входе в парогенераторы (ПГ) ~16 МПа.

В рабочих контурах давления сред неодинаковы, и в аппаратах, разделяющих эти среды (парогенераторы и ПТО), при возникновении каких-либо повреждений, повлекших за собой нарушение герметичности аппаратов, будет происходить смешивание разделяемых сред (в том числе и с химическим взаимодействием) с перетоком такой смеси в сторону меньшего давления.

При возникновении неплотности в парогенераторах должно происходить химическое взаимодействие натрия и воды с образованием продуктов взаимодействия (в том числе водорода) и повышением давления, особенно в натриевом контуре, т.е. очевидно наличие явных признаков, характеризующих появление неплотности, что существенно упрощает задачу диагностирования такого процесса, которая и реализо-

вана на энергоблоке БН-600 (например, индикаторы водорода в натрии второго контура).

При возникновении неплотности в промежуточных теплообменниках (ПТО) «натрий-натрий», установленных внутри реактора, химического взаимодействия сред нет, процесс должен сопровождаться только некоторым повышением давления аргона в газовой полости реактора (ГПР) и повышением уровня натрия в реакторе. Вследствие меньшей разности давлений сред в первом и втором контурах ($\sim 0,25$ МПа), по сравнению с разностью давлений сред во втором и третьем контурах ($\sim 14,5$ МПа), и отсутствию процесса химического взаимодействия при контакте сред в ПТО, признаки появления неплотности в промежуточном теплообменнике существенно менее очевидны, чем признаки появления неплотности в парогенераторе, что усложняет задачу контроля межконтурной плотности в ПТО.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ

Методика устанавливает последовательность операций, конечной целью которых является определение возможной межконтурной течи промежуточных теплообменников (ПТО) реактора БН-600.

В качестве контролируемых величин используются значения масс натрия в реакторе и во втором контуре в выбранные моменты времени.

Процесс контроля межконтурной плотности сводится к сравнению изменений масс натрия в реакторе и во втором контуре за заданные временные промежутки.

В методике учитываются температурные эффекты теплоносителя и режимы работы главных циркуляционных насосов (ГЦН-1, 2) первого и второго контуров (изменение объемов и уровней натрия при росте его температур и изменении скоростей вращения насосов) и эффекты теплового объемного расширения металлоконструкций (изменение объемов металлоконструкций при изменении их температур).

Выбор в качестве контролируемой величины массы натрия обусловлен следующими преимуществами рассчитываемой величины массы по сравнению с непосредственно измеряемыми величинами (давлениями аргона и уровнями натрия):

- масса натрия в реакторе и во втором контуре в случае их герметичности – есть величина постоянная в любых режимах работы энергоблока при любых температурных состояниях теплоносителя и металлоконструкций, в отличие от уровней натрия;
- для контроля межконтурной плотности ПТО необходимо и достаточно знать всего две величины – массу натрия в реакторе и массу натрия во втором контуре, в то время как при использовании уровней натрия в качестве таких величин, необходимо иметь в виду, что, например, в реакторе БН-600 имеется 6 объемов с различными значениями уровней натрия («горячий» бак, три бака ГЦН-1, центральная поворотная колонна (ЦПК), трасса охлаждения корпуса реактора);
- величина массы натрия не зависит от давления аргона в газовых полостях, которое, в свою очередь, зависит от утечки газа и восполнения этой утечки из ресиверов.

Масса натрия в реакторе складывается из масс натрия в «горячем» и «холодном» баках, во всех ГЦН-1 и ПТО, в активной зоне и в боковом экране, в напорной камере и трубопроводах, а также масс натрия в щелевом пространстве охлаждения корпуса реактора и в нижней (негерметичной) части ЦПК. При расчете массы натрия в реакторе сначала определяется внутренний объем части корпуса реактора, занятой натрием, при заданной температуре (распределении температур) и положении отметки уровня натрия в баке реактора. Затем определяются объемы всех внутрикорпусных устройств (ВКУ) с учетом известных температур и положений отметок уровней натрия, отдельно определяются объемы натрия первого контура внутри ВКУ с учетом

известных температур. Далее по известным объемам и плотностям натрия определяются массы теплоносителя. В конце рассчитывается суммарная масса натрия в реакторе в выбранный момент времени. Аналогичные расчеты проводятся для другого момента времени. Определяется погрешность расчета массы, состоящая из методической погрешности (определяется неточностью расчета объемов, плотностей и др.) и погрешности средств измерений (термопар, уровнемеров).

Для повышения надежности процесса контроля рассчитывается масса натрия во втором контуре. При этом, в случае появления в реакторе неплотного ПТО, возрастанию массы натрия первого контура будет соответствовать эквивалентное снижение массы натрия второго контура.

При появлении в реакторе неплотного ПТО должно выполняться следующее условие:

$$\begin{cases} m_{\text{Na},p}^i - m_{\text{Na},p}^1 \geq \Delta m_p \\ m_{\text{Na},2}^1 - m_{\text{Na},2}^i \geq \Delta m_{2-к}, \text{ кг,} \end{cases} \quad (1)$$

где $m_{\text{Na},p}^1$ – масса натрия в первом контуре в первый момент времени, кг; $m_{\text{Na},p}^i$ – масса натрия в реакторе в i - момент времени, кг; $m_{\text{Na},2}^1$ – масса натрия в петле второго контура в первый момент времени, кг; $m_{\text{Na},2}^i$ – масса натрия в петле второго контура в i - момент времени, кг; Δm_p – максимальная расчетная погрешность при определении массы натрия в реакторе, кг; $\Delta m_{2-к}$ – максимальная расчетная погрешность при определении массы натрия в петле второго контура, кг.

Выполнение условия (1) проверяется для каждой петли второго контура.

Схема процесса контроля плотности ПТО представлена на рис.1.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ

Для реализации методики оперативного контроля межконтурной плотности ПТО, основанной на результатах анализа вероятных изменений масс натрия в реакторе и во втором контуре, разработана программа M_SODIUM для персонального компьютера.

Процесс контроля межконтурной неплотности сводится к автоматическому сравнению вероятных изменений масс натрия в реакторе и во втором контуре за определенные временные промежутки в течение микрокампании. Предусмотрена возможность учета массы натрия в баках запаса второго контура с целью учета возможных перетечек натрия из контура в баки запаса через неплотную арматуру (допускаемый эксплуатационный режим) при работе реактора на номинальной мощности. Предусмотрена возможность определения массы натрия, сливаемого (доливаемого) из реактора во время ППР, а также решение других прикладных задач (см. ниже).

Для написания программы использовался язык программирования Delphi-5 фирмы Borland. Пакет программ предназначен для использования в операционных системах Windows 95, 98, XP.

Внешний вид рабочих окон программы для различных режимов ее работы представлен на рис.2, 3. Вывод результатов контроля предусмотрен в форме бланка (см. рис.4).

Основной результат контроля – определение наличия или отсутствия межконтурной неплотности ПТО – представлен в нижней части бланка в виде надписи «Межконтурная неплотность в ПТО отсутствует» в случае отсутствия неплотного ПТО, или «Межконтурная неплотность в ПТО !!!» в случае появления неплотного ПТО.

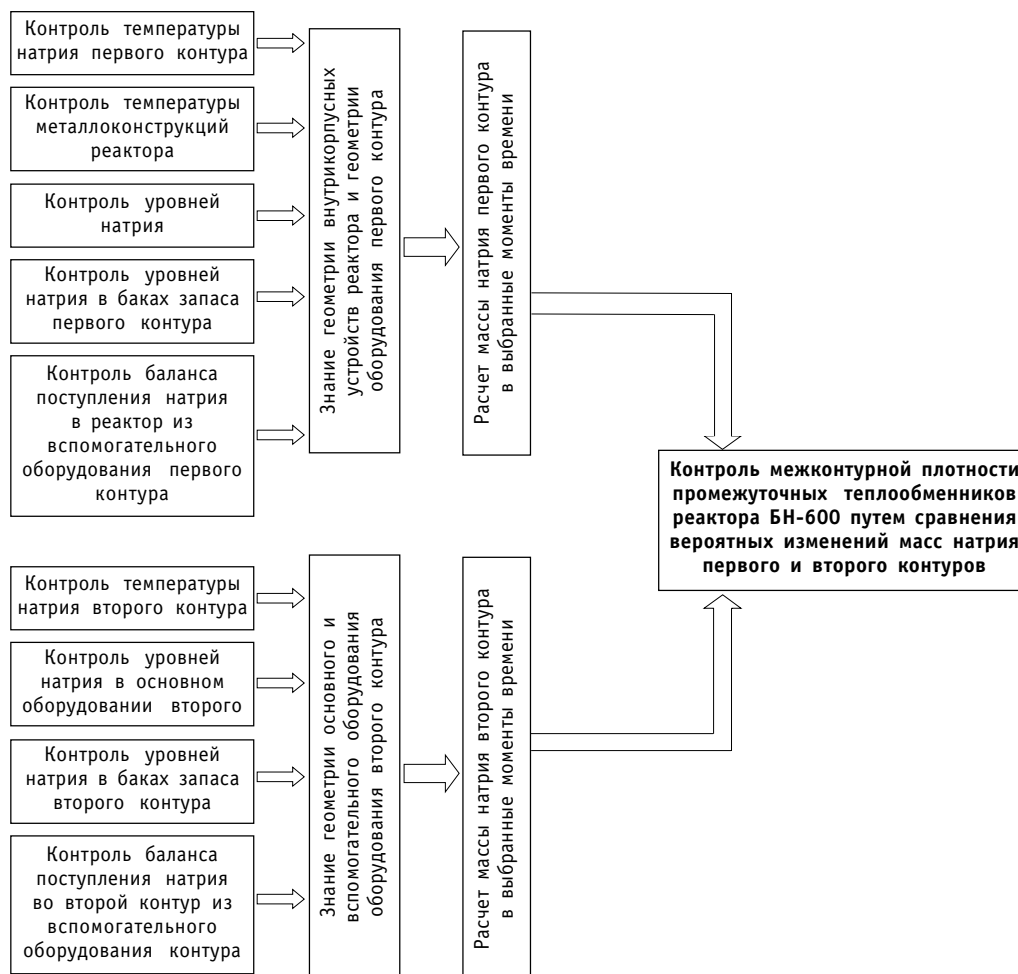


Рис. 1. Схема процесса контроля межконтурной плотности промежуточных теплообменников реактора БН-600

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ

Кроме основного применения методики и программы M_SODIUM, а именно – оперативного контроля межконтурной плотности ПТО, возможны следующие варианты использования указанных продуктов:

- 1) определение количества натрия, сливаемого (доливаемого) из реактора во время операций по дренированию (подпитке);

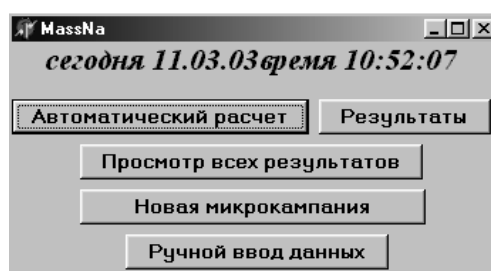


Рис.2. Внешний вид окна программы после ее запуска

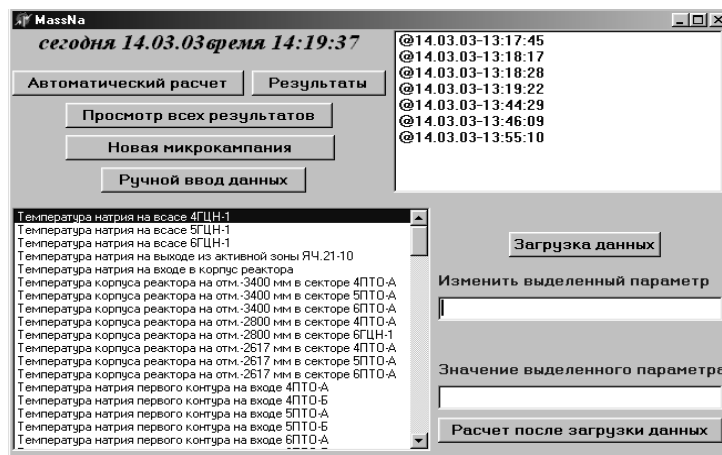


Рис.3. Внешний вид окна программы после нажатия кнопки «Ручной ввод данных» в режиме корректировки значений технологических параметров

- 2) определение количества натрия, требуемого для приведения уровня натрия в реакторе к значению, определенному технологическим регламентом;
- 3) оценка температурной зависимости показаний баковых уровнемеров в переходных (пуск, останов) режимах работы энергоблока;
- 4) математическое моделирование различных нештатных ситуаций, связанных с изменением количества натрия в реакторе.

Реализация первой задачи возможна следующим образом: рассчитывается программой M_SODIUM в автоматическом режиме масса натрия в реакторе непосредственно перед началом операций дренирования/подпитки; рассчитывается масса натрия в реакторе сразу после завершения операций дренирования/подпитки; полученная разность масс и есть искомое количество слитого/долитого натрия, при известной его температуре можно определить соответствующие объемы натрия.

Реализация второй задачи возможна следующим образом: рассчитывается программой M_SODIUM в автоматическом режиме масса натрия в реакторе в заданный момент времени; рассчитывается программой M_SODIUM в режиме ручного ввода данных масса натрия в реакторе, при этом в качестве значений уровней и темпера-

Величина	@14.03.03-13:17:45	Текущее значение	Разница
Масса натрия в реакторе	727278	727133	145
Масса натрия во втором контуре	630418	830363	55
Учет массы натрия в баке ЗЕН-2		НЕТ	
Масса натрия в второго контура четвертой петли	280508	280423	85
Масса натрия в второго контура пятой петли	263486	263481	5
Масса натрия в второго контура шестой петли	286424	286459	-35
Объем натрия в 5ПЦН-1	54	54	0
Объем натрия в 4ПЦН-1	17	17	0
Объем натрия в вентильном ЦПК	16	16	0
Объем натрия в ЦПК	17	17	0
Объем натрия первого контура внутри всех ПТО	17	17	0
Объем натрия в 6ПЦН-1	17	17	0
Объем натрия в тракте охлаждения корпуса реактора	14	14	0
Уровень натрия в ЦПК	-2750	-2750	0
Уровень натрия в тракте охлаждения корпуса реактора	-2715	-2715	0
Уровень натрия в баке реактора (Поз.А)	4544	4547	-3
Уровень натрия в баке реактора (Поз.Б)	4509	4510	-1
Уровень натрия в 4ПЦН-1	1162	1162	0
Уровень натрия в 5ПЦН-1	886	886	0
Уровень натрия в 6ПЦН-1	1016	1016	0
Уровень натрия в 4ПЦН-2	1392	1394	-2
Уровень натрия в 5ПЦН-2	1374	1375	-1
Уровень натрия в 6ПЦН-2	1366	1366	0
Уровень натрия в 4ББН	933	931	2
Уровень натрия в 5ББН	916	919	-3
Уровень натрия в 6ББН	902	905	-3

Межконтурная неплотность в ПТО отсутствует

Рис.4. Внешний вид окна с бланком результатов диагностирования межконтурной неплотности ПТО

тур используются величины, указанные в технологическом регламенте; полученная разность масс и определенный по ней объем и есть искомое количество натрия, требуемого для приведения уровня натрия в реакторе к значению, определенному технологическим регламентом.

Реализация третьей задачи возможна следующим образом: рассчитывается M_{SODIUM} в автоматическом режиме масса натрия в реакторе перед началом пуска блока; рассчитывается масса натрия в реакторе после выхода на номинальный уровень мощности; при отсутствии изменений расчетной массы делается вывод об отсутствии температурной зависимости показаний (прогрессирующей при росте температуры натрия систематической погрешности) баковых уровнемеров.

Реализация четвертой задачи возможна следующим образом: рассчитывается M_{SODIUM} в автоматическом либо ручном режиме масса натрия в реакторе для заданных начальных условий; рассчитывается в режиме ручного ввода данных масса натрия для заданных конечных условий; полученная разность масс и определенный по ней объем и есть искомое применительно к моделируемой ситуации количество натрия. В качестве примеров таких задач можно отметить:

- расчет количества натрия, который может вытечь из реактора при гипотетической аварии с разрывом трубопровода Ду200 системы очистки натрия первого контура и полным отказом запорной арматуры;
- расчет количества натрия, соответствующего повышению уровня натрия в реакторе с номинального значения до отметки расположения трубопровода перелива натрия из реактора в бак ЗБН-1А при большой течи в ПТО.

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.