

ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРА БН-600 В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ – JOKER

Е.В. Балахнин, А.В. Гаврилов, А.И. Карпенко, А.М. Тучков
Белоярская АЭС, г. Заречный



В статье представлены работы Белоярской АЭС по созданию базы данных реального оборудования реактора БН-600 и комплекса программ JOKER, предназначенного для обоснования безопасной эксплуатации реактора в динамических режимах. Приведены пример расчета реальных параметров ГЦН первого контура и фрагмент базы данных по оборудованию.

Ключевые слова: база данных, комплекс программ, опытная эксплуатация, оборудование, расчет, твэл.

Key words: database, software package, trial operation, equipment, calculation, fuel pin.

ВВЕДЕНИЕ

Для анализа безопасности АЭС с реактором БН-600, включая режимы работы АЭС от нормальной эксплуатации до гипотетических аварий, разрабатывается комплекс программ JOKER [1]. В этом комплексе моделируются нестационарные процессы реактора БН-600 через использование полномасштабных моделей активной зоны реактора, оборудования и трубопроводов первого, второго и третьего контуров. Модель активной зоны содержит нейтронно-физический модуль, модуль теплогидравлики и модуль термомеханики зоны. Нейтронно-физический модуль основан на использовании пространственно-распределенной кинетики активной зоны. Модуль теплогидравлики реализован как одномерная теплогидравлическая модель с режимами до и после начала кипения теплоносителя. Модуль термомеханики включает в себя анализ поведения топлива и оболочки твэла при выгорании топлива, растрескивании и плавлении оболочки твэла и топлива. Модель комплекса JOKER полностью основана на нейтронно-физической модели комплекса программ ГЕФЕСТ. Исходные данные по загрузке активной зоны полностью считываются из файлов комплекса ГЕФЕСТ, включая и нейтронно-физические константы.

Аналогами комплекса JOKER служат комплексы ГЕФЕСТ (РФ) [2] и SAS-4A (США) [3]. Первый предназначен для обоснования безопасной эксплуатации реальных загрузок топлива в реакторе БН-600, в основном, для расчетов нейтронно-физических параметров активной зоны в стационарном режиме, имеет лицензию надзорного органа РФ, и уже много лет эксплуатируется на Белоярской АЭС. Второй,

созданный в ANL (США), широко известен в мире как комплекс по анализу проектов реакторных установок типа БН.

БАЗА ДАННЫХ ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРА БН-600

Комплекс JOKER содержит в своем составе несколько тысяч параметров, на основе которых строится расчетная схема и моделируется оборудование реактора БН-600. На рис. 1 представлены связи модулей комплекса JOKER. В число параметров комплекса входят такие величины как объемы оборудования (общие и отдельных элементов), длины и высотное расположение трубопроводов, площади раздела газ-жидкость и др. Данные по оборудованию могут быть изменены при замене того или иного оборудования.

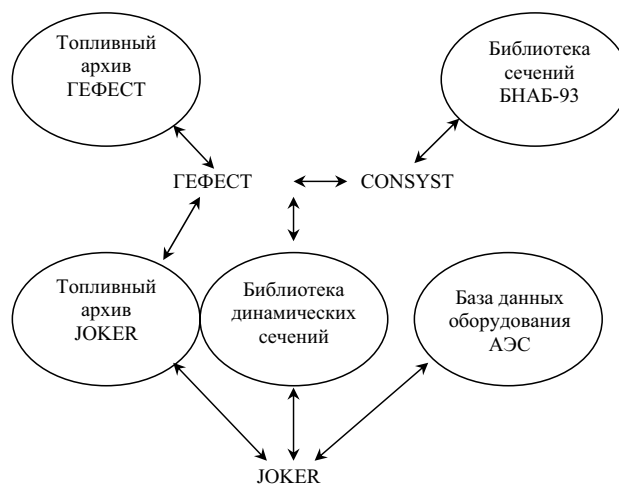


Рис. 1. Связи комплексов JOKER и ГЕФЕСТ: ГЕФЕСТ – штатный комплекс проведения расчетов реактора БН-600; CONSYST – система подготовки констант; JOKER – разрабатываемый комплекс программ обоснования безопасной эксплуатации реактора БН-600 в динамических режимах

В комплексе JOKER оборудование представляется в виде модулей, делящих его на характерные участки, сообщающиеся между собой. Все модули делятся на 3 типа:

- объемы под давлением (обозначаются V);
- сегменты (обозначаются S);
- элементы (обозначаются E).

Основными параметрами объемов под давлением являются

- полный объем;
- объем газа (если есть);
- площадь поверхности раздела жидкость-газ (если есть).

На рис. 2 представлена модель ГЦН первого контура, реализованная в комплексе JOKER.

Определяющими в модели являются объемы под давлением $V7$ и $V8$, причем вход в ГЦН $V7$ моделируется как объем под давлением с газовой подушкой. Таким образом, параметрами для внесения в базу данных будут

- объемы $V7$ и $V8$;
- объем газа в $V7$;
- площадь поверхности раздела газ-жидкость в $V7$.

В настоящее время в комплексе JOKER используются данные, полученные разработчиками из справочных данных и описания реактора БН-600. Результаты те-

V7	Название элемента	Описание
	V7	Вход в ГЦН
S13	S13	Сегмент ГЦН
E21	E21	Рабочее колесо ГЦН
E22	E22	Обратный клапан ГЦН
	V8	Выход из ГЦН
	-----	Площадь раздела газ-жидкость
V8		

Рис. 2. Модель ГЦН первого контура в комплексе JOKER

стовых расчетов нескольких нестационарных процессов, связанных с перемещением стержней СУЗ (отключение петли и самоход стержня СУЗ), и их хорошее совпадение с реально регистрируемыми технологическими параметрами показывают, что данные заведены вполне корректно [1]. Для анализа безопасности энергоблока, включая как режимы нормальной эксплуатации, так и режимы с отклонениями от нормальной эксплуатации, необходимо моделирование реальных параметров действующего оборудования. Для обеспечения правильности расчета теплогидравлики контуров важно знание параметров по относительному высотному расположению трубопроводов 2 и 3 контуров.

Комплекс JOKER принят в опытную эксплуатацию на Белоярской АЭС. С 2006 г. началась работа по наполнению комплекса параметрами оборудования реактора БН-600 и создание базы данных по реальному оборудованию. Такая база данных позволит повысить точность моделирования нестационарных процессов реактора БН-600 и проводить анализ влияния параметров замененного оборудования на общий уровень безопасности энергоблока.

На этапе опытной эксплуатации база данных представляет собой простой текстовый файл со строго определенной структурой.

::Название моделируемого оборудования::

Название 1-го элемента оборудования | обозначение в комплексе JOKER

Параметр 1 | название переменной или массива | значение | примечание

Параметр 2 | название переменной или массива | значение | примечание

Название 2-го элемента оборудования

Параметр 1 | название переменной или массива | значение | примечание

Параметр 2 | название переменной или массива | значение | примечание

Пример

::Напорная камера::

Сегмент «Проход из ГЦН в нижний коллектор» | S14

Массовый расход в сегменте, кг/с | flossl[14] | 1217.5 |

Высота входа в сегмент отн. нуля | zinl[14] | 2.8 |

Элемент «Трубы от ГЦН к нижнему коллектору» | E23

Поперечное сечение потока, м² | areael[23] | 0 |

Число изгибов в элементе | bendnm[23] | 0 |

Коэффициент теплопередачи стенки трубы, Вт/(м²*K) | wallh[23] | 1000 |

На рис. 3 представлена упрощенная модель ГЦН 1 контура, на основании которой была составлена расчетная модель в программе MathCAD. Расчеты проведены с учетом средних уровней натрия в баках каждого ГЦН и средней температуры в ГЦН. В табл. 1 представлены средние уровни натрия и температуры в баках ГЦН. Результаты расчета параметров ГЦН приведены в табл. 2.

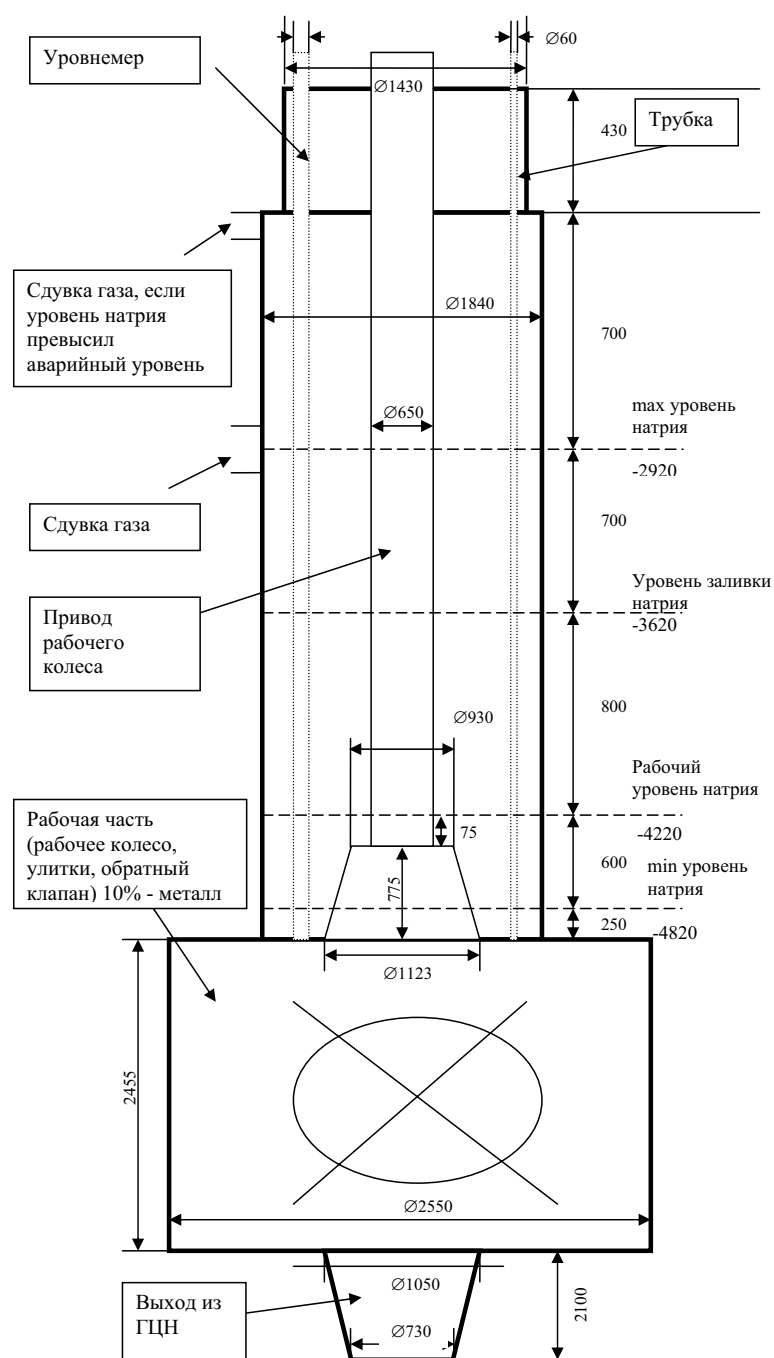


Рис. 3 Упрощенная схема ГЦН 1 контура для расчета объемов

Также были составлены и определены основные параметры для внесения в базу данных для следующего оборудования 1-го контура: промежуточного теплообменника, напорной камеры, верхней смесительной камеры и др.

Таблица 1

Средние значения уровней Na и температур в баках ГЦН 1 контура

	Средний уровень натрия в баке (относительно пола центрального зала), м	Средняя температура в баке ГЦН, °С
4ГЦН-1	–3852	370
5ГЦН-1	–4226	374
6ГЦН-1	–4036	371

Таблица 2

Расчетные параметры ГЦН 1 контура

	Объем натрия (для V7), м ³	Объем аргона (для V7), м ³	Площадь зеркала натрия (для V7), м ²	Объем натрия (для V8), м ³
4ГЦН-1	13,14	4,37	2,3	1,35
5ГЦН-1	12,25	5,27	2,3	1,35
6ГЦН-1	12,70	4,82	2,3	1,35

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Комплекс JOKER находится в опытной эксплуатации на Белоярской АЭС.
2. Основными задачами опытной эксплуатации комплекса JOKER на Белоярской АЭС являются
 - проверка работоспособности всех расчетных модулей;
 - проверка параметров реально действующего оборудования;
 - создание базы данных параметров оборудования.
3. Дальнейшее развитие комплекса JOKER связано с его наполнением базой данных о реальном оборудовании энергоблока №3 с реактором БН-600, что позволит на новом уровне выполнить анализ как режимов нормальной эксплуатации, так и аварийных режимов энергоблока, которые приведены в «Техническом обосновании безопасности атомной станции с энергоблоком БН-600».

Литература

1. Seleznev E.F., Aizatulin A.I., Belov A.A., Pryanitchnikov A.V., Fedorov I.F., Karpenko A.I., Tuchkov A.M., Balahnin E.V. Analysis of dynamic regimes at nuclear power plants with fast reactors using the JOKER code. PHYSOR-2008/International Conference on the Physics of Reactors «Nuclear Power: A Sustainable Resource» (Interlaken, Switzerland, 2008, September 14-19). – P. 119
2. Альперович М.Н., Григорьева Н.М., Сысоева О.В., Селезнев Е.Ф., Яблоков С.Л. Аннотация комплекса программ ГЕФЕСТ//ВАНТ. Сер. «Физика ядерных реакторов». – М.: РНЦ КИ, 1994. – Вып. 4. – С. 36-43.
3. Cahalan J.E. et al. Advanced LMR Safety Analysis Capabilities in the SASSYS1 and SAS4A Computer Codes/Proceedings of the International Topical Meeting on Advanced Reactors Safety (Pittsburgh, PA, April 17-21). – American Nuclear Society, 1994.

Поступила в редакцию 14.04.2009

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.526

BN-600 Liquid Metal Reactor – Main Features and Operating Experience/N.N. Oshkanov, P.P. Govorov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 14 pages, 4 tables, 7 illustrations. – References, 5 titles.

The main design features of the BN600 liquid metal fast reactor, its advantages and disadvantages, the technical and economic indicators achieved for 29 years of operation and the operating experience from the main sodium equipment are considered. The incidents and events involving the reactor power reduction are presented. The actions aimed at extending the operating lifetime of BN600 are highlighted.

УДК 621.039.526

Utilization of the Beloyarsk NPPs Experience in the Field of the Nuclear Superheating when Developing the Nuclear Reactors of the New Generation with the Increased and Supercritical Parameters of Coolant/A.A. Petrov, A.A. Romenkov, O.A. Yarmolenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 6 titles.

The article discusses the issues of the utilization of the Beloyarsk NPPs experience in the field of the nuclear superheating for the justification of the presently developed reactors with the supercritical coolant parameters.

УДК 621.039.526

On-line Failure Diagnosis and Vibration Reliability of the BN-600 Power Unit Primary and Secondary Sodium Pumps/E.Yu. Badanin, V.A. Drozdenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 4 illustrations. – References, 5 titles.

The article presents separate examples of the on-line analysis and failure diagnosis of the vibration conditions of the large components of the BN-600 power unit primary and secondary sodium pumps. The interrelation and the influence of the process parameters on the vibration reliability of the functioning of the units are considered.

УДК 621.039.526

Trial Use of the JOKER Software Package for the Justification of the Safe BN-600 Reactor Operation under Transients/E.V. Balakhnin, A.V. Gavrilov, A.I. Karpenko, A.M. Tuchkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents the Beloyarsk NPP work on the development of the JOKER software package database of the actual equipment of the BN600 reactor designated for the justification of the safe operation of the reactor under transients. The example of the calculation of the actual parameters of the primary sodium pump and the fragment of the database on equipment are given.

УДК 621.039.564.5

Vibroacoustic Methods of the Location of the Leak of the Irradiated Fuel Cooling Ponds/A.I. Beltyukov, P.P. Govorov, V.A. Drozdenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 6 illustrations. – References, 3 titles.

This paper presents the results of the conducted investigation in support of the location of the leak on the basis of the vibroacoustic signals emerging during the liquid leak. The auxiliary devices and the ways of the installation of the sensors are discussed.