

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НА БН-600 МЕТОДОВ БЕЗДЕМОНТАЖНОЙ ПОВЕРКИ И ДИАГНОСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМЫ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В.П. Забегаев, А.И. Карпенко, Е.Л. Розенбаум

Белоярская АЭС, г. Заречный



Статья содержит описание методов «текущего среднего» и «парных регрессий», использованных для поверки и диагностики измерительных каналов без демонтажа термопреобразователей для реактора БН600. Приведены результаты поверки измерительных каналов температуры натрия в 2003–2008 гг. Оценен положительный опыт использования методики.

Ключевые слова: диагностика, измерительный канал, метод «парных регрессий», метод «текущего среднего», микрокампания, поверка.

Key words: failure diagnosis, measurement circuit, method of the «binary regressions», method of the «current average», cycle, calibration.

Специфика измерений температуры в ядерных реакторах обусловлена воздействием на первичные преобразователи широкого спектра ионизирующих излучений, в результате чего возможно существенное изменение метрологических характеристик термопар. К системам контроля параметров ядерных энергетических установок предъявляются высокие требования, и постоянный метрологический контроль средств измерения является первостепенной задачей обеспечения их надежной эксплуатации. Наведенная активность термопреобразователей, установленных на выходе ТВС, делает практически невозможным общепринятый порядок поверки термопар методом сличения с показаниями образцовой термопары в контрольных точках.

Разработка методики поверки и диагностики измерительных каналов без демонтажа ТЭП для реактора БН600 осуществлялась в Физико-энергетическом институте в рамках программы «Совершенствование метрологического обеспечения эксплуатации АЭС».

Методика использует принцип информационной избыточности и основана на некотором наборе методов статистической обработки опытных данных, получае-

мых во время проведения штатных пусков, остановов и работы блока на номинальном уровне мощности.

Методика содержит в себе два способа, объединенных общей задачей [1]: поверка измерительных каналов методом «текущего среднего» и диагностика измерительных каналов методом «парных регрессий».

ПОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Метод «текущего среднего» представляет собой поверку, основанную на использовании в качестве образцового измерительного канала математической модели в виде так называемого «текущего среднего». Для этого используется связка методов статистической обработки опытных данных, которая позволяет получить для некоторых штатных режимов работы реактора математические модели, достаточно устойчивые к внешним возмущениям и временным трендам.

Поверку измерительных каналов методом «текущего среднего» проводят по наборам результатов измерений температуры, записанным перед пуском блока при условиях, удовлетворяющих следующим требованиям:

- мощность реактора не более 0,1% от номинальной;
- в работе три главных циркуляционных насоса I-го контура;
- температура натрия в баке реактора ~220–270°C;
- реактор и оборудование блока находятся в установившемся режиме на протяжении всего периода измерений.

При таких условиях возникает квазиизотермический режим, при котором температура натрия в измеряемых точках и различия в показаниях отдельных измерительных каналов системы внутриреакторного контроля температуры (СВРКТ) теплоносителя практически не изменяются.

Поверку проводят отдельно для двух групп измерительных каналов. Первая группа – это термопары, измеряющие температуру натрия на выходе из ТВС активной зоны реактора. Вторая группа – это термопары, измеряющие температуру натрия в баке реактора, на входе и выходе промежуточного теплообменника (ПТО) и на всасе главного циркуляционного насоса первого контура (ГЦН-1).

По данным регистрации технологических параметров информационно-вычислительной системы формируются файлы исходных данных в виде матрицы наблюдений типа $m \times n$, где n – число столбцов матрицы (число поверяемых измерительных каналов); m – число строк (рядов наблюдений).

Объем экспериментальных данных выбирается не менее 30 рядов наблюдений.

Исходные данные обрабатываются с использованием программы «POVRKTP.EXE». По запросу программы вводятся необходимые для расчетов коэффициенты статистики и допустимое отклонение от «текущего среднего». В программе проводится контроль на аномальность (выбросы) наблюдений, наличие трендов и равномерности измерений. В случае появления предупреждения о неудачно сформированной выборке исходных данных наблюдения повторяют.

Выходом процедуры поверки являются численные значения отклонений от образцового канала для всех измерительных каналов, включенных в объем контроля, вероятности выхода за допустимые отклонения, а также другие полезные для метрологической аттестации датчиков данные в текстовом (табличном) и графическом видах.

Периодичность поверок – микрокампания (мк), период работы реактора между двумя последовательными остановами для перегрузки и ремонта.

В табл. 1 представлен пример протокола поверки измерительных каналов температуры натрия на выходе ТВС, проведенной перед 55 мк (май 2008 г.).

Таблица 1

Протокол поверки измерительных каналов температуры натрия на выходе ТВС

№	Имя датчика	\bar{X}	S	t_{k1}' (3,044)	t_{k1}'' (3,044)	t_{k2} (2,03)	t_{k3} (0,098)	\overline{dX} (6,0)	$S(dX)$	P (A_1)	P (A_2)	P (A_3)	Заключение
1	17-09	219,72	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,54	0,03	0	1	0	Норма
2	14-15	226,36	0,49	2,83	2,83	2,03	0,09	3,11	0,49	0	1	0	Норма
3	18-21	218,32	0,74	1,42	1,42	-2,02	0,26	-4,94	0,74	0	1	0	Норма
4	19-18	223,48	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,03	0	1	0	Норма
5	16-13	218,45	0,65	1,88	1,88	-0,22	0,09	-4,81	0,65	0	1	0	Норма
6	23-18	221,11	0,49	2,83	2,83	-1,27	0,09	-2,15	0,49	0	1	0	Норма
7	09-17	225,02	0,49	2,83	2,83	-1,07	0,09	1,76	0,49	0	1	0	Норма
8	13-04	222,84	0,06	3,02	0,00	0,00	0,00	-0,42	0,03	0	1	0	Норма
9	05-14	222,89	0,19	3,02	3,03	-2,02	0,02	-0,37	0,17	0	1	0	Норма
10	21-10	225,95	0,09	3,03	3,04	-2,03	0,00	2,70	0,09	0	1	0	Норма
11	10-21	222,59	0,58	2,24	2,24	-0,97	0,08	-0,67	0,58	0	1	0	Норма
12	06-13	223,58	0,19	3,02	3,03	-2,03	0,02	0,32	0,17	0	1	0	Норма
13	12-05	224,93	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,03	0	1	0	Норма
14	07-18	222,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,20	0,03	0	1	0	Норма
15	04-11	224,29	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,03	0	1	0	Норма
16	24-17	222,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,26	0,03	0	1	0	Норма
17	10-10	221,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,26	0,03	0	1	0	Норма
18	08-12	226,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	2,74	0,03	0	1	0	Норма

Пояснения к обозначениям таблиц протокола

Для каждого i -го датчика выводятся следующие параметры:

имя датчика – уникальное наименование для идентификации измерительного канала; в данном примере имена термопар ЦПК; \bar{X} – среднее значение, °C; S – среднеквадратическое отклонение от \bar{X} , °C; t_{k1}' и t_{k2}'' – значения критериев на выбросы в исходных данных (в скобках даны критические значения для 5-процентного уровня значимости всех критериев); t_{k2} – критерий наличия трендов (при $|t_{k2}| > t_{k2 \text{ крит}}$ гипотеза об отсутствии тренда отвергается); t_{k3} – критерий Кокрена (на равнозначность измерений); гипотеза о равенстве дисперсий отвергается, если $t_{k3} > t_{k3 \text{ крит}}$; dX – среднее значение отклонения показаний канала от образцового (средняя разность показаний между i -м каналом и текущим средним), °C. В первой строке данного столбца дана норма допустимых отклонений; $S(dX)$ – среднеквадратическое отклонение для dX , °C; $P(A_1)$, $P(A_2)$, $P(A_3)$ – экспериментально вычисленные вероятности завышения показаний, нормальных показаний, занижения показаний i -го канала соответственно. Критерием допуска к дальнейшей эксплуатации измерительных каналов является непревышение среднего отклонения d допустимой погрешности измерений, определяемой нормативными документами (2%)

ДИАГНОСТИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Для оперативного контроля за сохранением метрологических характеристик измерительных каналов применяется метод «парных регрессий».

Метод основан на принципе физически очевидных и реально существующих функциональных связей между параметрами. Контроль измерительных каналов предполагает знание этих связей хотя бы на качественном уровне. Предполагая, что в течение некоторого времени эти связи не меняются, их используют для решения задач оперативного контроля за сохранением метрологических характеристик измерительных каналов. Связи используют на уровне парных регрессий (эталонных математических моделей), связывающих попарно показания всех датчиков в группах между собой. Набор датчиков в группы проводится на основе данных формального (статистического) и неформального анализов. Параметры эта-

лонных математических моделей получают по обучающей выборке, формируемой из экспериментальных данных. Последние представляют собой запись показаний измерительных каналов, выполненную непосредственно после того, как они прошли поверку в начале микрокампании.

Обучающая выборка создается для двух наборов измерительных каналов:

- каналы измерения температуры натрия на выходе из ТВС активной зоны реактора (15 каналов);
- каналы измерения температуры натрия в первом контуре реактора (15 каналов).

Во время пуска блока, в начале очередной микрокампании, по данным регистрации технологических параметров информационно-вычислительной системы формируются файлы с обучающей выборкой исходных данных в виде матрицы наблюдений типа $m \times n$, где n – число столбцов матрицы (число диагностируемых измерительных каналов); m – число строк (рядов наблюдений).

Объем данных для обучающей выборки должен содержать не менее 50 рядов наблюдений с дискретностью 2–10 часов.

Данные должны охватывать диапазон мощностей реакторной установки от 90 до 100% $N_{\text{ном}}$. Причем соотношение объема данных в обучающей выборке для пониженных и базовых уровней мощности реактора желательно иметь $\sim 1/3$.

Далее необходимо разбить на группы измерительные каналы.

Для каналов измерения температуры на выходе из активной зоны реактора формальной основой выделения групп являются устойчивые корреляционные связи, оцениваемые по коэффициентам взаимной корреляции ($\geq 0,75$). Создается 6 групп по 4 измерительных канала в каждой. Положительным фактором является присутствие одного из каналов в разных группах.

Состав групп для измерительных каналов температуры на выходе ТВС изменяется в зависимости от загрузки реактора и определяется в начале каждой микрокампании.

Для других измерительных каналов СВРКТ группы разбиваются по петлевому признаку, т.е. измерительные каналы каждой из петель циркуляции включаются в свою группу.

Состав групп измерительных каналов вносится в программу «PAIRREGS.EXE».

Загружается файл данных с соответствующей обучающей выборкой и производится автоматическое построение моделей в пределах каждой из групп измерительных каналов с последующим сохранением в файле моделей в виде коэффициентов уравнений регрессии:

$$T_o = A + B \cdot T_{\phi},$$

где T_o – показания измерительного канала «отклика»; T_{ϕ} – показания измерительного канала «фактора»; A, B – коэффициенты линейной регрессии.

Дальнейшая диагностика измерительных каналов заключается в периодическом создании выборки показаний измерительных каналов и формировании файла данных, который используется для диагностики. Запись данных производится во время работы реактора и всего оборудования блока в установившемся режиме при мощности реактора, близкой к номинальной.

После загрузки файла данных программой «PAIRREGS.EXE» производится сравнение фактических показаний каналов и соответствие их регрессионным моделям. Результат обработки по методу парных регрессий представляется в виде таблицы «невязок» по каждой из групп измерительных каналов.

В табл. 2 представлен пример таблицы «невязок» одной из групп, полученный при диагностике измерительных каналов температуры натрия на выходе ТВС за

Таблица 2

Невязки (группа 1)

№	Дата	Мод.:1 0:1 Ф:5 ДГ:12	Мод.:2 0:1 Ф:8 ДГ:12	Мод.:3 0:1 Ф:10 ДГ:12	Мод.:4 0:5 Ф:8 ДГ:12	Мод.:5 0:5 Ф:10 ДГ:12	Мод.:6 0:8 Ф:10 ДГ:12
1	30.05.2008	-0,16	0,59	-0,24	0,91	-0,06	-0,88
2	04.06.2008	-1,29	-0,05	-1,39	1,42	-0,20	-1,55
3	12.06.2008	-0,16	-0,12	1,23	0,07	1,67	1,49
4	18.06.2008	1,28	2,08	1,28	0,96	0,02	-0,87
5	23.06.2008	-0,29	0,52	-1,02	0,96	-0,84	-1,66
6	02.07.2008	-1,19	-1,82	0,31	-0,75	1,75	2,31
7	09.07.2008	-0,29	-0,90	-0,28	-0,71	0,02	0,70
8	16.07.2008	-0,82	0,59	0,50	1,69	1,59	-0,09
9	23.07.2008	-0,29	-0,19	0,45	0,13	0,88	0,71
10	30.07.2008	-0,29	0,52	1,19	0,96	1,74	0,72
11	06.08.2008	-1,72	-0,97	0,40	0,91	2,53	1,50
12	13.08.2008	-0,16	0,59	0,50	0,91	0,80	-0,09
13	20.08.2008	-0,82	-0,12	-0,24	0,85	0,73	-0,10
14	27.08.2008	-0,81	-0,90	-0,28	-0,09	0,65	0,70
15	01.09.2008	-2,38	-2,39	-1,07	0,01	1,59	1,48
16	10.09.2008	-2,25	-0,90	-2,49	1,63	-0,21	-1,69
17	16.09.2008	-2,63	-1,82	-2,63	0,96	0,02	-0,87
18	24.09.2008	-3,94	-1,82	-3,36	2,53	0,73	-1,66

период 55 мк (май – сентябрь 2008 г.).

Выход из строя измерительного канала может быть обнаружен по на_рушению связи (определенной заранее в парных регрессиях) показаний данного канала с другими. Факт изменения (нарушения) связи фиксируется по превышению допустимых границ (ДГ) невязки – разности между показаниями измерительного канала в данный момент и откликом модели (мод.), в которой данный измерительный канал присутствует в качестве отклика (О) или фактора (Ф).

Анализ каждого конкретного случая выхода «невязок» за допустимые границы проводится с учетом возможного изменения режима работы реакторной установки или других возмущающих факторов, способных оказать физическое воздействие на измеряемые параметры. При отсутствии указанных факторов данному измерительному каналу предписывается проведение поэлементной поверки во время ближайшего планового ремонта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Начиная с 33 мк (1995 г.) проводится систематический анализ показаний измерительных каналов. Результаты анализа методом «парных регрессий» и периодической поверки «методом текущего среднего» (каждую микрокампанию) подтверждают удовлетворительное состояние соответствующих измерительных каналов. В табл. 3 и 4 приведены результаты поверки измерительных каналов температуры натрия за последние микрокампании (2003–2008 гг.). В качестве результата используется основной показатель поверки: $d\bar{X}$ – среднее значение отклонения показаний канала от образцового (средняя разность показаний между i -м каналом и текущим средним).

Таблица 3

Результаты поверки измерительных каналов температуры натрия на выходе ТВС

№ яч.	45мк	46мк	47мк	48мк	49мк	50мк	51мк	52мк	53мк	54мк	55мк
17-09	-3,35	-3,21	-3,18	-1,70	-1,94	-2,90	2,18	-2,16	-5,20	-4,35	-3,54
14-15	3,73	4,02	2,83	3,82	5,38	5,05	3,38	3,42	4,12	5,71	3,11
18-21	-3,61	-1,90	-0,52	0,83	0,85	-2,50	-5,42	-2,44	-4,41	-4,38	-4,94
19-18	-0,41	1,70	2,13	-1,35	5,60	-0,07	-1,40	-0,58	-0,58	0,38	0,22
16-13	2,77	3,11	3,15	4,75	5,65	-2,08	-0,62	-0,32	-1,51	-1,74	-4,81
23-18	-2,83	-1,69	-0,61	0,75	0,05	-2,70	-0,92	-0,26	-2,97	-2,26	-2,15
09-17	-2,71	-3,21	-3,90	-3,43	0,05	0,50	-0,62	0,24	1,28	1,33	1,76
13-04	1,27	1,70	1,10	1,80	0,05	-0,48	-0,96	-0,58	-1,28	-0,30	-0,42
05-14	-2,39	-3,18	-2,92	-1,72	-0,75	-1,70	0,18	1,82	0,41	-0,34	-0,37
21-10	-0,01	0,74	-1,69	0,10	2,68	0,38	0,18	2,62	-0,96	0,46	2,70
10-21	-0,77	-1,40	-1,11	0,05	0,03	-1,70	-1,42	-0,35	-1,17	-0,83	-0,67
06-13	1,61	0,64	0,41	0,38	0,05	-1,44	-0,62	0,22	-0,43	-0,36	0,32
12-05	2,85	2,82	1,83	3,58	6,00	4,98	0,98	1,02	0,88	1,05	1,67
07-18	1,39	0,82	0,95	0,90	-0,75	-0,93	0,18	-0,58	-0,58	-1,19	-1,20
04-11	0,07	-0,89	-0,15	-0,31	4,85	4,52	1,24	1,02	1,80	1,57	1,03
24-17	1,61	0,30	-1,05	0,31	0,01	1,70	0,58	-0,68	-0,65	0,93	-1,26
10-10	1,27	-0,70	0,95	-0,69	-3,55	-0,30	0,58	-0,88	2,35	1,93	-2,26
08-12	-0,41	-0,70	-3,05	-0,69	0,45	-0,29	0,58	-0,98	-0,65	0,93	2,74

Таблица 4

Результаты поверки измерительных каналов температуры натрия первого контура

Имя датчика	45мк	46мк	47мк	48мк	49мк	50мк	51мк	52мк	53мк	54мк	55мк
Тр(0016)	-2,68	-0,38	-0,58	-1,08	-0,84	-0,83	-3,02	-0,82	-0,71	0,15	-0,49
Тр(0017)	-2,32	-1,68	-3,07	-2,94	-1,03	-0,92	-1,42	0,07	-0,15	0,33	-0,74
Вх4ПТО-А	-4,92	-1,78	-5,61	-6,25	-2,44	-3,52	-3,22	-2,72	-5,21	-2,30	-3,18
Вх4ПТО-Б	0,79	-0,36	-0,79	0,40	-1,24	-1,61	-0,22	-0,71	-1,31	-0,61	-1,61
Вх5ПТО-А	-1,53	1,18	0,69	2,10	-0,10	-1,25	-1,42	-1,34	-3,98	-1,92	-3,76
Вх5ПТО-Б	-2,96	-0,58	-1,07	-0,72	-0,64	-1,28	-0,22	-0,89	-1,00	-0,67	-1,50
Вх6ПТО-А	-2,64	-1,70	-3,77	-5,03	-2,36	-3,47	-4,42	-3,11	-0,98	-0,13	-0,76
Вх6ПТО-Б	4,78	5,10	4,38	4,59	3,56	3,76	3,97	3,55	3,87	4,19	4,38
Вых4ПТО-А	2,91	-0,18	-0,94	-1,74	-0,04	-0,81	1,58	0,00	0,97	0,09	0,38
Вых4ПТО-Б	4,38	2,08	1,29	0,76	-0,04	-0,23	1,91	0,49	-1,81	-1,36	-2,18
Вых5ПТО-А	-3,05	-0,02	0,64	-0,65	0,56	-0,25	-1,42	-1,93	-0,85	-1,21	-0,06
Вых5ПТО-Б	-1,01	3,36	1,93	1,75	1,16	0,00	0,98	0,75	1,53	0,52	0,54
Вых6ПТО-А	-1,20	-1,08	-2,20	-2,47	-1,01	-2,06	-0,22	-1,56	0,33	1,12	-0,37
Вых6ПТО-Б	1,80	1,36	-0,68	-0,13	1,16	0,27	0,38	-0,11	0,45	0,62	1,60
4ГЦН-1	1,08	0,82	1,51	-1,29	-3,30	-0,23	0,98	1,09	1,05	1,20	0,93
5ГЦН-1	-1,10	1,98	1,51	1,08	-3,04	0,37	0,98	1,35	0,97	2,29	0,66
6ГЦН-1	4,17	4,52	3,13	1,99	-2,11	1,10	1,40	1,17	1,51	1,88	1,42

Регулярная диагностика (один раз в неделю) измерительных каналов методом «парных регрессий» не выявила дефектных измерительных каналов. Отдельные отклонения за допустимые пределы от моделей были связаны с изменением режима работы реактора, что подтверждает высокую чувствительность метода.

Учитывая положительный опыт использования методики поверки и диагностики измерительных каналов без демонтажа ТЭП для реактора БН600 и универсальность применения можно рекомендовать ее использование на других энергоблоках атомных станций.

Литература

1. Экспериментально-теоретические основы методики поверки измерительных каналов системы внутриреакторного контроля температуры без демонтажа термоэлектрических преобразователей на 3м блоке БАЭС/ГНЦ РФФЭИ. Отчет о НИР. Инв. №9106, 1995 г.

Поступила в редакцию 30.03.2009

УДК 621.039.526

Experience of Utilization at BN-600 of the Methods of the Check and Failure Diagnosis of the Measurement Circuits of the In-Reactor Coolant Temperature Monitoring without their Dismantling/V.P. Zabegaev, A.I. Karpenko, E.L. Rozenbaum; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 4 tables. – References, 1 title.

The article presents the methods of the «current average» and «binary regressions» used to calibrate and diagnose the failures of the measurement circuits without dismantling of the temperature transducers for the BN600 reactor. The results of the calibration of the sodium temperature measurement circuits in the period from 2003 to 2008 are given. The positive experience of the methodology utilization has been assessed.

УДК 621.039.564.5

Methodology of the Location of the Failed Stage during the Development of the Water-Sodium Reaction in the Modular Steam Generator named PGN-200M/A.A. Kuznetsov, P.P. Govorov, Yu.V. Nosov, A.P. Karavaev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 2 titles.

The article considers the way of the location of the failed stage when the indications of the water-sodium reaction emerge in the PGN-200M modular staged steam generator of the BN600 power unit. The selection of the diagnostic parameters used to locate the failed stage is justified. Various alternative locations of the water-sodium reaction have been simulated.

УДК 621.039: 504.064

Radiation Safety of the General Public and Environment in the Area of the Beloyarsk NPP Site. A.V. Ladeishchikov, A.V. Shonokhov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 3 pages, 3 illustrations. – References, 4 titles.

The environmental radiation surveillance in the area of the Beloyarsk NPP site is traditionally given specified attention. The surveillance data quoted in this article show that the level of the Beloyarsk NPP radiation impact both upon general public and environment is within the limit of the unconditionally acceptable risk.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Forming the Model of the BN-600 Reactor Core using the Hephaestus Fuel Archive for the SYNTES Code/ E.V. Balakhnin, A.V. Gavrilo, 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. – 4 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents the first stage of the forming of the SYNTES software computational model of the BN600 reactor core, i. e. the organization of the transfer of the existing model of the core from the Hephaestus fuel archive to the temporal database.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Support by Calculation to the Reactor Testing of the Test Sub-Assemblies for Production of argon-37/V.V. Golovin, A.I. Karpenko, A.M. Tuchkov, I.A. Chernov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 3 tables. – References, 4 titles.

In support to the BN600 in-reactor tests of the sub-assemblies for the production of argon-37 the computational and the experimental investigations were conducted. The goal of the work, i. e. the manufacture the neutrino source of 400 kCi activity, was achieved.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Additional Method of the Determination of the Anticipated Position of Shimming Rod KS1-18 of the BN-600 reactor of the Beloyarsk NPP under the critical conditions/V.A. Zhyoltyshev, A.A. Lyzhin, V.A. Shamansky, Yu.S. Khomyakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika»