

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТНОГО МОДУЛЯ ПРИ ПОЯВЛЕНИИ ТЕЧИ В СЕКЦИОННОМ ПАРОГЕНЕРАТОРЕ ПГН-200М

А.А. Кузнецов, П.П. Говоров, Ю.В. Носов, А.П. Караваев
Белоярская АЭС, г. Заречный



В статье рассматривается способ определения дефектного модуля при появлении признаков истечения среды третьего контура в секционном модульном парогенераторе ПГН-200М энергоблока БН-600. Обоснован выбор диагностических параметров для определения дефектного модуля. Смоделированы варианты с различным расположением места истечения.

Ключевые слова: арматура, информационная вычислительная система, испаритель, расход, свищ, температура натрия, уставка.

Key words: valves, process monitoring system, evaporator, flowrate, flaw, sodium temperature, setting.

При появлении свищей (течей) на модулях парогенератора ПГН-200М имеется возможность отсечения дефектной секции без отключения петли и снижения энерговыработки. Быстрое отключение дефектного участка необходимо для предотвращения возможного разрушения как самого трубопровода, так и окружающего его оборудования. При возникновении подобных ситуаций для принятия правильного решения требуется оперативный анализ большого количества технологических параметров, что при недостатке времени является затруднительным. Кроме того, в большинстве случаев для корректной локализации места истечения требуется визуальное наблюдение, что в условиях недостаточной освещенности, стесненности пространства, особенностей компоновки и запаривания помещений практически маловероятно. Более оптимальным представляется вариант, когда такой анализ выполняется автоматически, с выдачей конечного результата с обозначением места дефекта.

Автоматизация процесса определения дефектного модуля при появлении течи требует разработки специальной методики.

Данная методика должна удовлетворять следующим требованиям:

- быть пригодной для реализации на информационной вычислительной системе (ИВС) «УРАН» Белоярской АЭС и работать в автоматическом следящем режиме без участия оператора;
- при появлении истечения оперативно выдавать информацию о дефектном модуле.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ

Петли тепловода энергоблока являются автономными и разнесены территориально. Теплоноситель второго контура (натрий) и рабочее тело третьего контура (вода-пар) нерадиоактивны. Поэтому возможный дефект не окажет влияния на нормальный режим работы других петель тепловода и не будет иметь последствий для безопасной эксплуатации энергоблока. Однако отключение тепловодящей петли является нарушением нормальной эксплуатации, приводящим к снижению экономических показателей работы энергоблока. Кроме того, отключение тепловодящей петли как переходный процесс может неблагоприятно сказаться на ресурсе работы оборудования.

При анализе имевших место событий можно сделать следующие выводы:

- имеющихся технических средств контроля и возможностей визуального наблюдения недостаточно для правильной локализации места дефекта (секции парогенератора с трубопроводами обвязки);
- используемые методы и способы локализации недостаточно оперативны, в результате чего изменения параметров, определяющих возможность работы тепловодящей петли, выходят за рамки допустимых значений.

На основании данных выводов очевидна необходимость разработки методики определения дефектного модуля при появлении течи и программных средств диагностирования парогенераторов для информационной поддержки оператора.

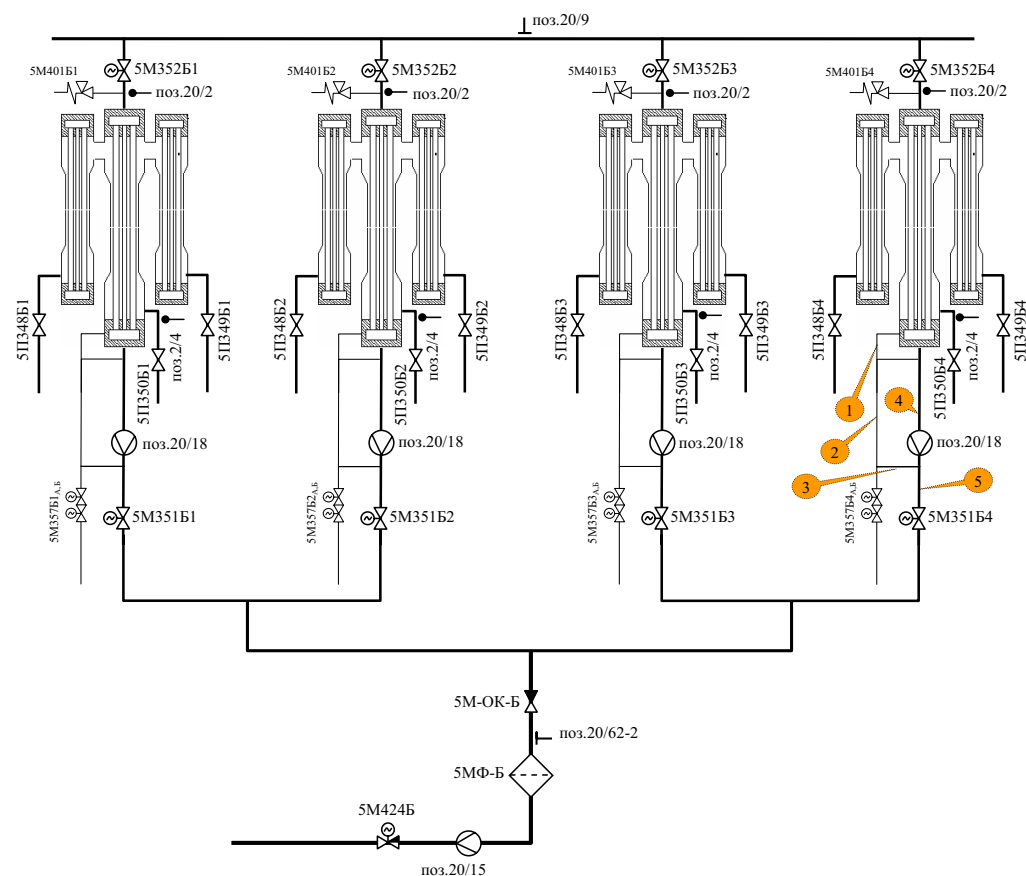


Рис. 1. Схема обвязки модулей парогенератора №5 сторона Б: ∇ – запорная арматура; ∇ – регулирующая арматура; \blacktriangleright – обратный клапан; \odot – расходомерная вставка; \uparrow – термопара; \perp – датчик давления

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОЯВЛЕНИИ ДЕФЕКТА

Каждый парогенератор ПГН-200М (всего три парогенератора, по одному на каждую теплоотводящую петлю) состоит из восьми секций, по четыре секции на каждую из сторон А или Б (разбиение исходя из особенностей конструкторско-технологической схемы энергоблока). Каждая секция, в свою очередь состоит из трех модулей: испарительного (ИМ), основного (ОП) и промежуточного (ПП) пароперегревательных. Подвод и отвод среды третьего контура осуществляется посредством трубопроводов обвязки, к ним также относятся и вспомогательные дренажные трубопроводы.

На рис. 1 в качестве примера представлена схема обвязки модулей на парогенераторе № 5, сторона Б, с расположением имеющихся в наличии средств контроля (секционных расходомеров питательной воды и термодатчиков контроля температуры натрия на выходах испарительных модулей), запорной арматуры (отсечение модулей при необходимости), а также с местами возможных дефектов со сто-

Таблица 1

Аномальная ситуация	Показания поз. 20/18				Показания поз. 2/4				Примечание
	5И-Б1	5И-Б2	5И-Б3	5И-Б4	5И-Б1	5И-Б2	5И-Б3	5И-Б4	
Свищ (течь) в точке 1	↓	↓	↓	↑ ¹⁾	↑	↑	↑	↑ ⁵⁾	Фактический расход воды через 5И-Б4 уменьшится
Свищ (течь) в точке 2	↓	↓	↓	↓↑ ²⁾	↑	↑	↑	↑ ⁵⁾	
Свищ (течь) в точке 3	↓	↓	↓	↓↑ ²⁾	↑	↑	↑	↑ ⁵⁾	
Свищ (течь) в точке 4	↓	↓	↓	↑ ³⁾	↑	↑	↑	↑ ⁵⁾	
Свищ (течь) в точке 5	↓	↓	↓	↓ ⁴⁾	↑	↑	↑	↑ ⁵⁾	
Ошибочное закрытие 5ПЗ48Б4	—	—	—	—	↑	↑	↑	↓	Имеются адреса дискретных параметров ИВС, характеризующие состояние секционной арматуры
Ошибочное закрытие 5ПЗ49Б4	—	—	—	—	↑	↑	↑	↓	
Ошибочное закрытие 5ПЗ50Б4	—	—	—	—	↑	↑	↑	↓	
Ошибочное закрытие 5МЗ51Б4	↑	↑	↑	↓ ⁶⁾	↓	↓	↓	↑	
Ошибочное закрытие 5МЗ52Б4	↑	↑	↑	↓ ⁶⁾	↓	↓	↓	↑	

Примечание.

¹⁾ – Рост показаний расходомера из-за уменьшения общего гидравлического сопротивления трассы после места установки РУ поз. 20/18 5И-Б4 (появление байпасного расхода в месте свища) – аналогично рассмотренному выше случаю.

²⁾ – Изменение показаний расходомера поз. 20/18 5И-Б4 в ту или иную сторону (рост или снижение относительно значения до момента появления свища) будет зависеть от точного места свища, расхода истечения, изменений давлений воды до и после сопла расходомерного устройства.

³⁾ – Рост показаний расходомера из-за уменьшения общего гидравлического сопротивления трассы после места установки РУ поз. 20/18 5И-Б4.

⁴⁾ – Снижение показаний расходомера поз.20/18 произойдет из-за фактического снижения расхода воды через сопло расходомерного устройства и далее через испаритель 5И-Б4.

⁵⁾ – Рост температур натрия на выходах 5И-Б1–5И-Б4 произойдет из-за снижения фактического расхода воды через эти испарители, причем рост на 5И-Б4 будет более существенным, чем на 5И-Б1–5И-Б3 из-за большего по величине снижения расхода воды (скорость роста температуры натрия будет выше).

⁶⁾ – При закрытии секционной арматуры 5МЗ51Б4, 5МЗ52Б4 показания расходомера приблизятся к нулю из-за фактического отсутствия расхода воды через данный испаритель.

роны третьего контура (по питательной воде).

В табл. 1 представлена качественная оценка возможных изменений показаний расходомеров (поз.20/18) и термопар (поз.2/4) при появлении свищей на одном из пяти представленных на рис. 1 участков, а также возможные изменения этих показаний при ошибочном закрытии арматуры 5П348Б4, 5П349Б4, 5П350Б4, 5М351Б4, 5М352Б4.

Таким образом, использование в качестве диагностируемых параметров показаний секционных расходомеров поз.20/18 сопряжено с неоднозначной интерпретацией их возможных изменений в случае появления свища, т.к. эти показания не всегда отражают фактическое изменение расхода воды через испарители. Более оправданным представляется использование в качестве диагностируемых параметров значений температур натрия на выходах испарителей и скоростей изменения этих температур.

Исходя из проведенного анализа изменений технологических параметров ПГ при появлении и развитии течи была разработана методика и алгоритм диагностирования секции ПГ с дефектом.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ ПГ С ТЕЧЬЮ ПАРОВОДАЮЩЕЙ СМЕСИ

Анализ состояния запорной арматуры секций

1. В случае, если имеется отключенная секция, контроль показаний температуры натрия на выходе из нее не проводится. Анализ процедуры отключения секции выполняется согласно «Типовому бланку отключения секции алгоритмом малая течь» с учетом времени закрытия арматуры. При изменении состояния какого-либо дискретного параметра ИВС (характеризует состояние запорной арматуры) с «открыто» на другое выполнить сохранение текущих значений остальных дискретных и аналоговых параметров.

2. Выбор секции, где отмечено изменение состояния дискретного параметра, выполнять с учетом номеров параметров в матрице исходных данных программы. Пример матрицы с номерами параметров представлен в табл. 2.

Например, если в i -й момент времени отмечено изменение состояния параметра №101 ($A_i^{101} \neq \langle \text{открыто} \rangle$), то это означает, что состояние арматуры 5М351Б4–5М356Б4 изменилось с «открыто» на другое.

В случае, если спустя 130 секунд (время может уточняться, первоначально определено от времени полного закрытия задвижек П348, П349, М351–М353) состояние других параметров на этой секции (№№ 98, 99) не изменилось с «открыто» на другое, и состояние параметра № 101 изменилось на «закрыто», выдается сообщение об ошибочном закрытии арматуры 5М351Б4–5М356Б4:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } A_i^{101} \neq \langle \text{открыто} \rangle \\ \text{и } A_{i+130}^{101} = \langle \text{закрыто} \rangle \\ \text{и } (A_{i+130}^{98} \text{ или } A_{i+130}^{99}) = \langle \text{открыто} \rangle \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ошибочное закрытие 5М351Б4-5М356Б4. (1)}$$

Если в i -й (и последующие) момент времени отмечено изменение состояния параметра № 100 (характеризующего состояние арматуры П350) с «открыто» на другое, а состояние остальной арматуры секции остается «открыто», то это означает ошибочное закрытие арматуры П350:

Таблица 2

Матрица номеров параметров

№ п/п	Наименование параметра	Номер параметра для секции							
		A4	A3	A2	A1	B1	B2	B3	B4
Температуры натрия на выходе из испарительных модулей									
1	Температура натрия на выходе 4И	1	2	3	4	5	6	7	8
2	Температура натрия на выходе 5И	9	10	11	12	13	14	15	16
3	Температура натрия на выходе 6И	17	18	19	20	21	22	23	24
Арматура парогенератора 4									
4	4ПЗ48. Вход натрия в модуль ОП	30	34	38	42	46	50	54	58
5	4ПЗ49. Вход натрия в модуль ПП	31	35	39	43	47	51	55	59
6	4ПЗ50. Выход натрия из секции	32	36	40	44	48	52	56	60
7	4М(351÷356)	33	37	41	45	49	53	57	61
Арматура парогенератора 5									
8	5ПЗ48. Вход натрия в модуль ОП	70	74	78	82	86	90	94	98
9	5ПЗ49. Вход натрия в модуль ПП	71	75	79	83	87	91	95	99
10	5ПЗ50. Выход натрия из секции	72	76	80	84	88	92	96	100
11	5М(351÷356)	73	77	81	85	89	93	97	101
Арматура парогенератора 6									
12	6ПЗ48. Вход натрия в модуль ОП	110	114	118	122	126	130	134	138
13	6ПЗ49. Вход натрия в модуль ПП	111	115	119	123	127	131	135	139
14	6ПЗ50. Выход натрия из секции	112	116	120	124	128	132	136	140
15	6М(351÷356)	113	117	121	125	129	133	137	141
Параметр включения/отключения секции									
16	Парогенератор 4	150	151	152	153	154	155	156	157
17	Парогенератор 5	158	159	160	161	162	163	164	165
18	Парогенератор 6	166	167	168	169	170	171	172	173

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } A_i^{100} \neq \langle \text{открыто} \rangle \\ \text{и } A_{i+10}^{100} \neq \langle \text{открыто} \rangle \\ \text{и } (A_i^{98} \text{ или } A_i^{99}) = \langle \text{открыто} \rangle \\ \text{и } (A_{i+10}^{98} \text{ или } A_{i+10}^{99}) = \langle \text{открыто} \rangle \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ошибочное закрытие 5ПЗ50Б4.} \quad (2)$$

3. В противном случае выполняется алгоритм отключения секции КОС или отключается модуль ОП (ПП) – ситуация не считается аномальной.

4. Если состояние какой либо задвижки изменилось с «открыто» на другое, следящий контроль свищей по скоростям изменения температуры натрия для этой секции не проводить в течение 130 секунд (время полного хода рабочего органа арматуры; может уточняться), считая с i -го момента времени. Начиная с $i+131$ -го момента времени при выполнении условия отключения

- секции КОС $\{ (A_{i+131}^{98} \text{ и } A_{i+131}^{99} \text{ и } A_{i+131}^{101}) = \langle \text{закрыто} \rangle \}$ обсчитывать скорости изменения температур для 3-х секций на этой стороне;
- модуля ОП или ПП $\{ (A_{i+131}^{100}) = \langle \text{открыто} \rangle \text{ и } (A_{i+131}^{98} \text{ или } A_{i+131}^{99}) \neq \langle \text{открыто} \rangle \}$ обсчитывать скорости изменения температур для всех 4 секций на стороне.

Анализ скоростей изменения температур натрия на выходе из испарителей

1. В случае, если имеется отключенная секция (по результатам контроля состояния арматуры – см. выше), расчет и анализ скоростей изменения температуры натрия на выходе из испарителя этой секции не проводится. Температура натрия на выходе из этой секции приравнивается к нулю.

2. Демпфированная (скользящее среднее) скорость изменения температуры

$$dT_{i,k}^k = \frac{A_i^k \cdot U_i^{k+149} - \sum_{j=1}^{20} A_{i-j}^k \cdot U_{i-j}^{k+149}}{\sum_{a=0}^5 \sum_{b=1}^4 U_i^{b+4 \cdot a+149}} \cdot 60, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мин}, \quad (3)$$

где $dT_{i,k}^k$ – скорость изменения температуры натрия на выходе из k -ой секции ($k=1-24$) в i -й момент времени; A_i^k – значение температуры натрия на выходе из k -ой секции ($k=1-24$) в i -й момент времени, $^\circ\text{C}$; U_i^k – параметр включения/отключения секции в i -й момент времени ($k=150-173$), $U_i^k=1$ (секция в работе), $U_i^k=0$ (секция отключена).

3. Полученные значения скоростей изменения температур сравниваются с заранее определенной уставкой. При превышении скоростью изменения температур для какой-либо секции значения уставки делается предварительный вывод о вероятности возникновения свища на этой секции (первый условный критерий).

4. Определение секции в пределах стороны парогенератора с максимальной скоростью изменения температуры для каждого момента времени и сравнение ее со средней (для остальных секций данной стороны) скоростью изменения температуры:

$$\begin{aligned} dT_{\max i}^m &= \max(dT_{i,k}^k) \\ \overline{dT}_i^m &= \frac{\sum_{k=1}^3 dT_{i,k}^k \{ \text{кроме } dT_{\max i}^m \}}{3}, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мин} \end{aligned} \quad (4)$$

где $dT_{\max i}^m$ – максимальная скорость изменения температуры натрия на выходе испарителя для каждой стороны парогенераторов ($m=1-6$, $k=1-4$, $5-8$, $9-12$, $13-16$ и т.д.) в i -й момент времени; \overline{dT}_i^m – средняя скорость изменения температуры натрия на выходе испарителей (кроме испарителя с максимальной скоростью) для

каждой стороны парогенераторов в i -й момент времени.

5. Сравнение относительной разности между максимальной и средней скоростями изменения температур с заранее определенной уставкой. В случае, если разность превышает уставку (первый критерий), и максимальная скорость изменения температуры характерна для одной и той же секции и также превышает уставку (второй критерий) на протяжении 20 секунд подряд (время может уточняться в процессе отладки методики и программы), делается вывод о появлении свища питательной воды на секции с максимальной скоростью изменения температуры натрия:

$$\text{если } \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{dT_{\max i}^m - \overline{dT}_i^m}{\overline{dT}_i^m} \right) \cdot 100\% \geq dT_{\text{уст}} \\ \text{и} \left(\frac{dT_{\max i-1}^m - \overline{dT}_{i-1}^m}{\overline{dT}_{i-1}^m} \right) \cdot 100\% \geq dT_{\text{уст}} \\ \vdots \\ \text{и} \left(\frac{dT_{\max i-20}^m - \overline{dT}_{i-20}^m}{\overline{dT}_{i-20}^m} \right) \cdot 100\% \geq dT_{\text{уст}} \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \text{то в секции ПГ с} \\ dT_{\max} = f(m, k) \text{ возможен} \\ \text{свищ питательной воды,} \end{array} \right\} \quad (5)$$

где $dT_{\text{уст}}$ – уставка по относительной разности скоростей изменения температуры натрия (определяется экспериментально с учетом имеющихся практических исходных данных по аналогичным дефектам), предварительно принимается равной 30%.

ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В качестве примера на рис. 2 представлены результаты определения максимальной и средней скоростей изменения температур натрия на выходе из испарителей (определение по (4) для каждого момента времени). Начиная с нулевого мо-

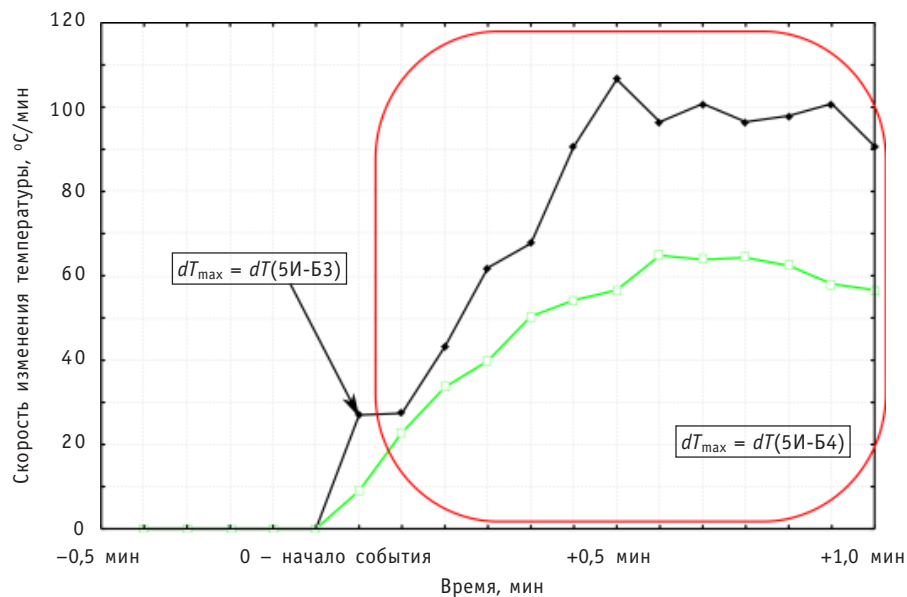


Рис. 2. Скорости изменения температуры натрия на выходе 5И-Б1–5И-Б4 (максимальная и средняя для оставшихся трех секций) при появлении дефекта (см. выше): \blacklozenge – dT_{\max} ; \square – $dT_{\text{сред}}$

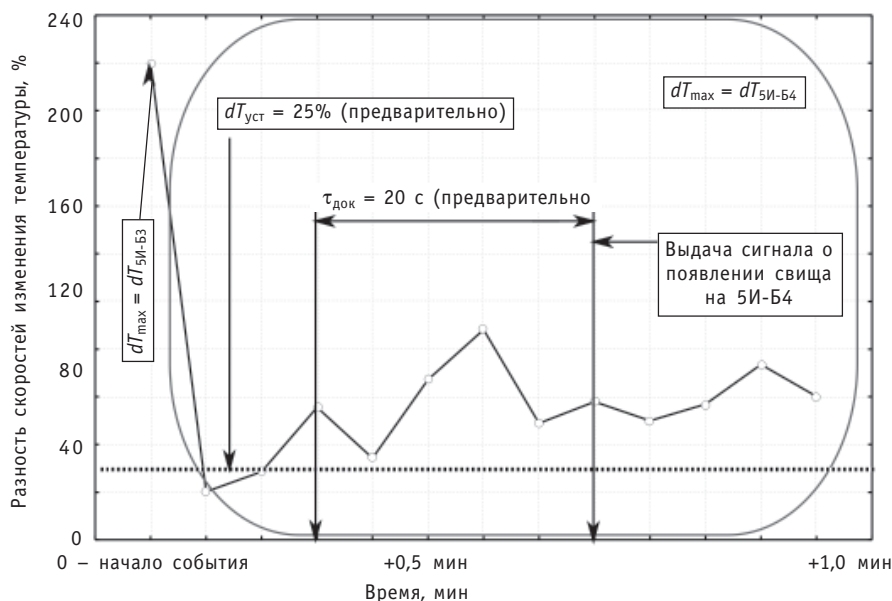


Рис. 3. Относительная разность максимальной и средней скоростей изменения температуры натрия на выходах 5И-Б1–5И-Б4 при появлении дефекта

мента времени (начало события) отмечен рост значений скоростей температур натрия на выходе из испарителей. В это время максимальная скорость изменения температуры характерна для 5И-Б3 ($27^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), средняя – для оставшихся трех секций (5И-Б1, 5И-Б2, 5И-Б4) составляла $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Спустя ~ 16 секунд от начала события и для всего последующего рассматриваемого промежутка времени максимальная скорость изменения температуры характерна для 5И-Б4.

На рис. 3 представлено изменение относительной разности между максимальной и средней скоростями изменения температур натрия. Таким образом, начиная с самого первого момента, когда отмечен рост скорости изменения температуры натрия (с самого начала превышающий уставку $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), делается предварительный вывод о возможном появлении свища на одном из испарителей стороны Б ПГ № 5 (выполнение условий для первого критерия). По прошествии 16 секунд с момента выполнения условий первого критерия начинается выполнение условий второго критерия (превышение относительной разностью максимальной и средней скоростей изменения температур натрия уставки 25%). По прошествии еще 20 секунд выполняется условие повторяемости второго критерия и спустя 36–40 секунд после начала события делается вывод о появлении свища на 5И-Б4.

Приведенный алгоритм определения местоположения течи на ПГ реализован в виде программного продукта, который в настоящее время проходит опытную проверку.

Литература

1. Технологический регламент эксплуатации энергоблока № 3 Белоярской АЭС.
2. Инструкция по эксплуатации парогенератора ПГН-200М.

Поступила в редакцию 27.04.2009

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»