

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ DINA-1 ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ ВВЭР ПО ДАННЫМ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

С.Т. Лескин, Д.Г. Зарюгин

Обнинский институт атомной энергетики, г. Обнинск



Разработан комплекс программ диагностирования ГЦН (DINA-1) по данным оперативного технологического контроля. Представлены результаты анализа состояния главных циркуляционных насосов (ГЦН) пятого блока НВ АЭС и первого блока Калининской АЭС. Комплекс программ распознает аномалию в состоянии ГЦН, когда измеряемые параметры насосов не превышают пределов нормальной эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ

На нескольких АЭС мира в 80-90-е гг. произошли разной степени повреждения ГЦН, которые рассматриваются как крупные технические аварии, связанные с большими материальными затратами и длительным простоем энергоблоков [1]. Причиной выхода из строя ГЦН-4 на Южно-Украинской АЭС (20.04.83 г.) стало повреждение нижнего радиального подшипника вследствие его недопустимого перегрева в результате нарушения условий эксплуатации. Непосредственной причиной повреждения подшипника явилось набухание вкладышей подшипника из графитофторопластового материала марки 7В-2А.

01.01.1986 г. при работе блока №3 АЭС «Crystal river» (США) по сигналу о повышенной вибрации электродвигателя ГЦН и понижении расхода через реактор произошел автоматический останов реактора. Причиной этих событий явилось заклинивание и поломка вала ГЦН вследствие остаточных и термических напряжений из-за пониженной температуры воды на уплотнениях ГЦН.

Своевременное обнаружение аномалии в состоянии ГЦН позволило бы скорректировать режим его эксплуатации и, возможно, предотвратить аварию.

04.03.1990 г. произошло срабатывание АЗ 1 на 5 блоке Нововоронежской АЭС по сигналу о снижении перепада давления на ГЦН-1. Непосредственной причиной отказа явилось повреждение торсионной муфты насоса по механизму усталостного разрушения в результате циклических изгибных повреждений в шлицевой части из-за расцентровки вала двигателя и насоса в процессе эксплуатации.

В настоящее время на АЭС внедряются системы непрерывного контроля за вибрационным состоянием главных циркуляционных насосов и петель 1 и 2 контуров. Не обсуждая необходимость проведения виброизмерений следует отметить, что повышение уровня вибраций может быть следствием отклонений в режимах работы оборудования. Для предотвращения аварий в дальнейшем необходимо их обнаружение на возможно

более ранней стадии, когда технологические параметры не вышли за пределы нормальной эксплуатации и нет необходимости предпринимать решительные действия для предотвращения серьезных последствий.

В статье представлены алгоритмы и комплекс программ (DINA-1) диагностирования ГЦН ВВЭР по данным оперативного контроля. Работа комплекса по распознаванию аномальных состояний насосов демонстрируется на данных Калининской и Нововоронежской АЭС.

АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ГЦН ПО ДАННЫМ ОПЕРАТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В [2] представлены метод и алгоритмы выявления аномалий в состоянии оборудования по анализу данных оперативного технологического контроля. За «норму» принимается состояние большинства одновременно работающих в одинаковых условиях единиц оборудования. Таким образом, если из четырех ГЦН ВВЭР 1000 три ведут себя одинаково, а состояние одного сильно отличается от остальных, то его состояние следует интерпретировать как аномальное. Алгоритм диагностирования включает в себя [2]

- выбор информативных параметров;
- формирование диагностического признака;
- принятие решения.

Для решения задачи выделения комплекса информативных параметров был предложен корреляционный классификатор, основанный на функции «расстояния» между параметрами [2]. Здесь в качестве исходной информации используется матрица корреляций между параметрами. Затем определяется «расстояние» между двумя параметрами X_i и X_j :

$$R_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^N [r(X_i, X_p) - r(X_j, X_p)]^2}, \quad (1)$$

где $r(X_i, X_j)$ - коэффициент корреляции параметров X_i и X_j .

Введем в рассмотрение N -мерное пространство E , N – количество технологических параметров, $E=A \cup B$, где A – подпространство, определяющее состояние системы одновременно работающих объектов (общий режим), например, четырех ГЦН.

$B=E-A$ – подпространство параметров, описывающих режимы работы оборудования, не относящиеся к «общему» режиму. К этому подпространству следует также отнести и недостоверные измерительные каналы.

Объединение параметров в пространстве E , на котором определена $R(x_i, x_j)$, осуществлялось с помощью алгоритма последовательного выделения наиболее удаленных точек (параметров) от всей совокупности параметров множества A . На первом шаге вычисляется сумма расстояний каждого элемента множества до всех остальных и определяется наиболее удаленный элемент. Гипотеза о принадлежности i -го элемента множеству A отвергается на уровне значимости $\alpha=0.05$, если t_i больше Z_m ,

$$t_i = \frac{R_i - \bar{R}}{\sigma}, \quad (2)$$

где R_i – среднее расстояние от точки i до множества точек A ; \bar{R} – среднее расстояние между точками множества A ; σ – оценка средне квадратичного отклонения; $Z_m = 1.96$; $m=N-2$.

Выделение параметров, не принадлежащих множеству A , происходит до тех пор, пока не будет удовлетворяться критерий.

Выделенное множество B , элементы которого не принадлежат множеству A , прове-

ряются на наличие классов (компактных множеств) с плотностью не ниже, чем плотность элементов в классе A :

$$P(B) \geq P(A), \quad (3)$$

где $P(A)$ – плотность элементов класса; $P(B)$ – плотность классов на множестве B .

Классификация заканчивается тогда, когда будут выделены все классы на множестве B . Для каждого класса определяется «представитель», т.е. элемент, имеющий наименьшее расстояние до всех остальных в классе. Другими словами, это параметр, наиболее связанный со всеми остальными, входящими в его класс. Затем среди этих «представителей» определяется наиболее удаленный, и из параметров, которые входят в класс наиболее удаленного «представителя», формируется информативный вектор. Для количественного сравнения состояний объектов и выявления возможных аномалий в поведении любого из них использовалось разложение Карунева-Лоева [3]. Согласно оптимальным свойствам разложения, вклад каждого собственного вектора корреляционной матрицы в описание дисперсии исходных данных пропорционален собственному значению. Поведение ГЦН во времени представляется проекцией информативного вектора на собственный вектор корреляционной матрицы, имеющий максимальное собственное значение:

$$y_i = (\bar{C}_1 \bar{X}_i), \quad (4)$$

где скобки обозначают скалярное произведение; \bar{C} – собственный вектор; \bar{X} – вектор информативных параметров $i = 1, Q$, где Q – объем выборки.

Значение y_i содержит как общий режим работы всей совокупности объектов (ГЦН), связанный, например, с режимом работы АЭС, так и индивидуальный режим работы каждого из них.

Для количественного сравнения особенностей состояния ГЦН используется квадрат отклонения проекции (4) от общего режима (диагностический признак):

$$D_i = (y_i - W_i)^2. \quad (5)$$

В качестве «общего» режима работы насосов в каждый момент времени берем среднее значение

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 y_j. \quad (6)$$

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ DINA-1

Описанные алгоритмы реализованы комплексом программ DINA-I, принципиальная блок-схема которого представлена на рис. 1.

Необходимая для расчета информация выбирается из удаленного станционного ресурса, где она хранится в байтовом формате, и постоянно обновляется с периодичностью примерно в 3 секунды. Информация извлекается по заданному номеру первого байта записи, с которого начинается запись значения параметра с ГЦН и вспомогательных систем. Значения параметров считываются в течение смены через каждые четыре минуты и архивируются в отдельную базу данных, за формирование которой отвечает программа «Extract». Если в момент считывания данных произойдет какой-либо сбой в системе и потеряется несколько байтов записи, то система автоматически удалит неполные данные. Период считывания значений параметров установлен опытным путем с тем, чтобы обеспечить минимально необходимый для расчета объем выборки (примерно 120 точек), отражающий динамику изменения параметров, с учетом потерь за счет сбоев в станционной сети. Далее значения параметров разархивируются в удобный для обработки вид. Для этого предназначены блоки чтения и разархивации данных. Некоторые

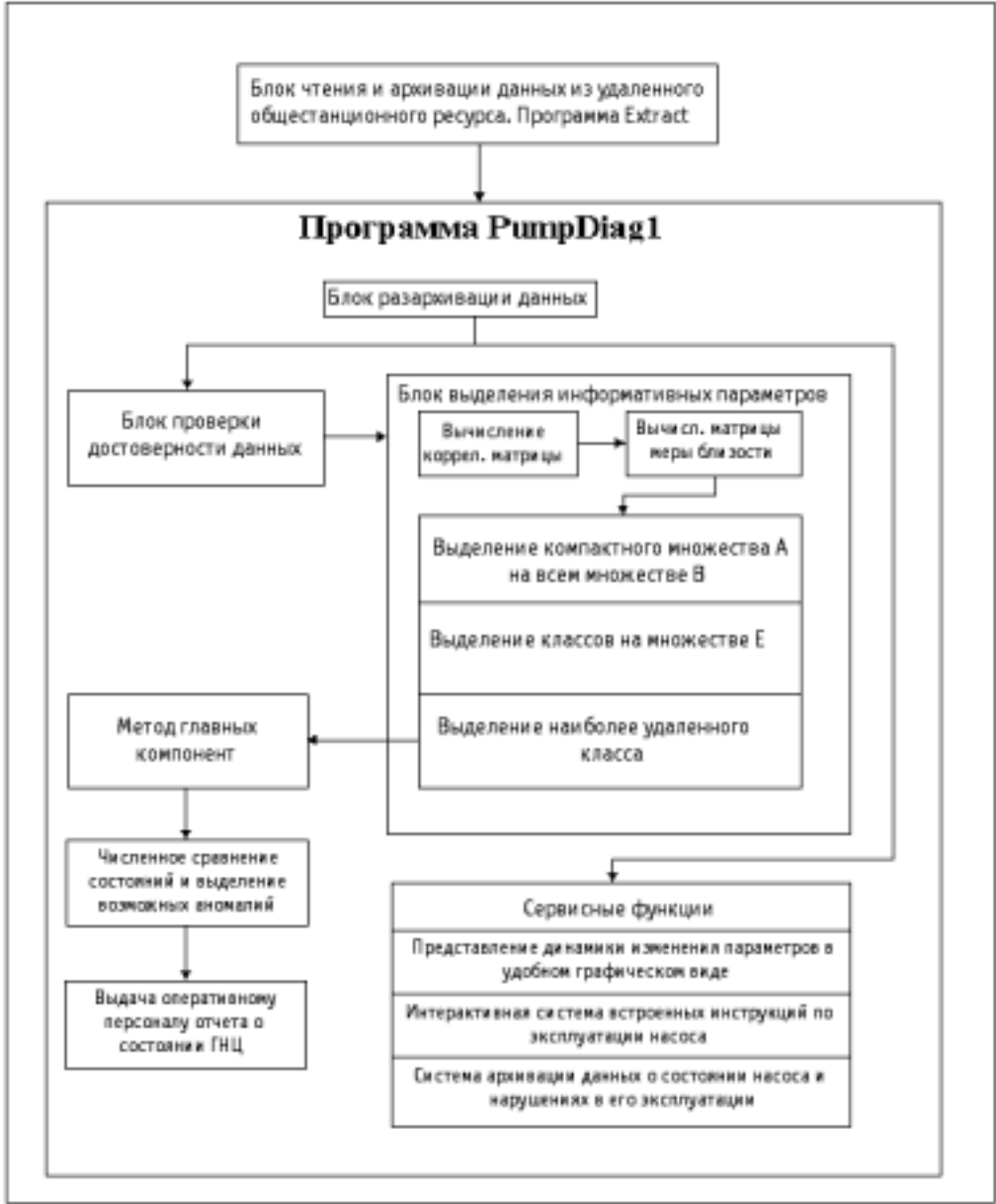


Рис. 1. Блок-схема программного комплекса DINA-I

значения параметров могут быть заведомо ложными из-за отказа датчиков; их надо удалять из базы данных. Для этого предназначен блок проверки недостоверности данных. При обнаружении недостоверных показаний какого-либо датчика пользователю выдается отчет с указанием названия параметра и номера датчика по станционной спецификации обозначений. Далее реализуются блоки отбора информативных параметров и вычисления диагностического признака (5) для каждого ГЦН. При превышении диагностическим признаком порогового значения одним из насосов его состояние считается аномальным и оперативному персоналу выдается отчет. В отчете указывается номер аномального ГЦН, комплекс информативных параметров, по которому состояние данного насосного агрегата можно считать аномальным, а также график изменения диагностического признака во времени.

Сервисные функции введены в программный комплекс DINA-1 для удобного графического представления оперативному персоналу данных о ГЦН.

Сервисные функции включают в себя

- представление изменения параметров в удобном графическом виде с указанием номеров и мест расположения датчиков на схеме;
- интерактивную систему встроенных инструкций по эксплуатации насоса;
- систему архивации данных о состоянии ГНЦ и нарушениях в его эксплуатации.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЦН КАЛИНИНСКОЙ И НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС

Анализ состояния ГЦН-2 блока 1 Калининской АЭС

Работа программного комплекса тестировалась на основе данных эксплуатации перед нарушениями в работе ГЦН Калининской и Нововоронежской АЭС [2].

Анализировался период работы 1 блока Калининской АЭС в период с 18.01.91 г. по 29.04.92 г. до планового предупредительного ремонта и после него. В этот период наблюдалась повышенная вибрация ГЦН-2. Во время ППР производилась балансировка насосного агрегата.

Изменение вибрационных характеристик ГЦН-2 блока 1 во времени представлено на рис. 2. Здесь по оси X отложено время, а на оси Y представлен квадрат отклонения амплитуды вибраций от среднего значения в каждой точке. Точки с 1 по 16 – вибросостояние ГЦН до ППР, точки с 17 по 43 – вибросостояние ГЦН после ППР. Как видно из рисунка, балансировка агрегата дала лишь временное улучшение его виброхарактеристик.

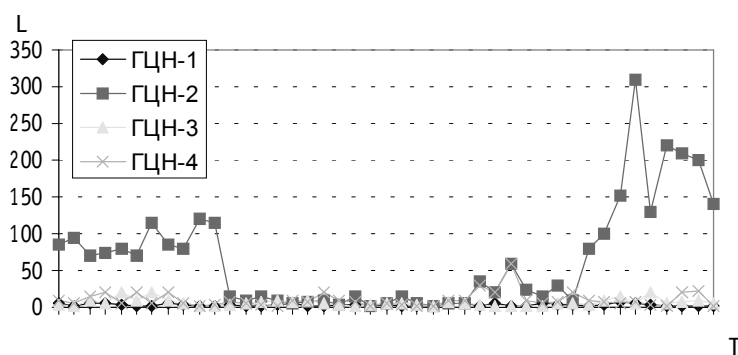


Рис.2. Изменение квадрата отклонения амплитуды вибраций ГЦН во времени

В этот период работы проводился анализ состояния ГЦН-2 эксплуатационным персоналом, поэтому данные о его работе собирались особенно тщательно. Выводов относительно того, можно ли считать состояние ГЦН-2 аномальным, сделано не было. Для оценки возможностей разработанных методов анализа данных оперативного технологического контроля для диагностики ГЦН было предложено использовать данные именно этого периода.

Для этой цели использовалось 45 технологических параметров, составляющих 24-ый бланк УВС «Титан 2»; это теплофизические параметры технической и запирающей воды, масла ГЦН, автономного контура, температуры главного упорного подшипника и корпуса электродвигателя.

Программным комплексом DINA-1 выделялись информативные параметры, изменение совокупности которых во времени представляется диагностическим признаком (5) и показано на рис.3.

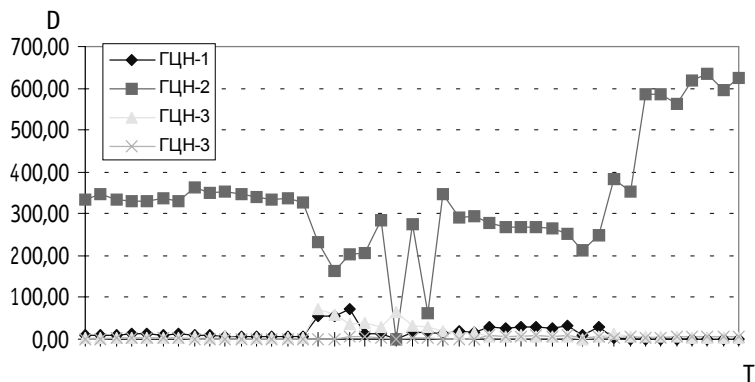


Рис.3. Изменение диагностического признака *D* во времени блока 1 Калининской АЭС

Полученные с помощью разработанного комплекса программ результаты показывают, что состояние ГЦН-2 аномально на протяжении всего рассматриваемого временного интервала с 18.01.91г. по 29.04.92г.

Представляет интерес наличие трех периодов его работы.

I период - (точки с 1 по 16) отличие состояния ГЦН-2 от остальных. Это период работы до планового предупредительного ремонта.

II период - (точки с 17 по 35) по вибрационным характеристикам ГЦН-2 не отличается от остальных (см. рис.2), но его состояние по комплексу технологических параметров, по-прежнему, остается аномальным (см. рис.3).

III период - резкое развитие аномалии на фоне резкого увеличения вибраций ГЦН-2.

Информативный комплекс параметров, описывающий состояние ГЦН-2 на всем рассматриваемом временном интервале, представлен в табл. 1.

Таблица 1

№ пар.	Название параметра	Обозначение
3	Давление на нагнетании ГЦН	$P_{\text{нагнет.}}$
17	Температура запирающей воды на выходе из ГЦН	$T_{\text{з.в. на вых.}}$
21	Температура холодного воздуха в электродвигателе	$T_{\text{хв. з/д}}$
22	Температура автономного контура на входе в ГЦН	$T_{\text{ак. вх.}}$
28	Температура металла главного упорного подшипника (верх)	$T_{\text{мет. гуп.}}$
44	Температура автономного контура на выходе из ГЦН	$T_{\text{ак. вых.}}$

Как показано в табл. 1, информативные параметры относятся к блоку уплотнений, автономному контуру, температурному состоянию электродвигателя и главного упорного подшипника.

Результаты ревизии выемной части ГЦН-2, проведенной в период следующего планового предупредительного ремонта, показали необходимость капитального ремонта блока уплотнений, небольшого ремонта главного упорного подшипника. Кроме того, устранены неисправности в электродвигателе.

Последующий анализ состояния ГЦН-2 до 15.01.1993 показал, что оно отличается нестабильностью и периодическим проявлением аномалии. В последствии ГЦН-2 оказался в аварийном состоянии и был выведен на капитальный ремонт.

Анализ значений информативных и связанных с ними параметров (см. табл. 2), а также коэффициентов корреляции показал наличие сильной положительной связи параметров «внутреннего» состояния ГЦН-2 с параметрами первого контура.

Таблица 2

Параметры состояния ГЦН Калининской АЭС

Название параметров и размерности	Среднее значение				Среднеквадратичное отклонение			
	Номер ГЦН				Номер ГЦН			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Температура запирающей воды на выходе, °С	41,4	44,7	42,5	41,7	1,78	1,91	1,92	1,96
Расход запирающей воды на входе, м ³ /ч	0,93	0,73	1,27	1,29	0,01	0,01	0,01	0,04
Расход запирающей воды на выходе, м ³ /ч	0,84	1,33	0,71	0,73	0,10	0,01	0,02	0,01
Температура автономного контура на входе, °С	45,5	55,9	48,5	47,6	1,58	1,57	1,67	1,92
Температура металла главн. упорн.подш. (верх), °С	51,3	45,5	56,8	50,7	0,91	0,84	1,55	0,90
Температура нижней части электродвигателя, °С	47,9	38,5	46,5	49,7	1,29	1,06	0,94	1,04
Температура верхней части электродвигателя, °С	20,6	31,9	22,8	19,4	2,93	1,27	2,05	2,69
Температура автономного контура на выходе, °С	69,0	91,8	73,2	72,8	1,58	1,76	1,77	2,19

Результаты анализа

1. Значительная положительная корреляция (0,737) между давлением на напоре ГЦН - давлением запирающей воды на выходе из ГЦН, расходом запирающей воды на сливе и температурой нижнего направляющего подшипника (0,663).

2. Превышение расхода запирающей воды на сливе из насоса над расходом запирающей воды на входе в насос. Причем расход запирающей воды выше, чем аналогичный параметр для других ГЦН (см. табл. 2).

3. Более высокие значения параметров температурного состояния ГЦН-2, чем в других насосах, например, температура запирающей воды, автономного контура на выходе из насоса (0,554).

4. Наличие существенной положительной корреляции (0,851) между расходом запирающей воды на сливе и температурой воды автономного контура на выходе.

На основании представленных результатов анализа следует предположить, что к рассматриваемому моменту времени произошел значительный износ нижнего радиального подшипника. Вследствие этого вода первого контура просачивается через пластины теплового барьера, через сам подшипник и попадает на уплотнение вала ГЦН. При этом повышается температура воды автономного контура, металла нижнего направляющего подшипника и запирающей воды на сливе.

Что явилось первопричиной аномального состояния ГЦН-2 Калининской АЭС к рассматриваемому моменту времени (вибрация или состояние нижнего направляющего подшипника) определить трудно. Однако при наличии постоянного контроля состояния ГЦН с помощью разработанного программного комплекса DINA-1 можно определить начальный момент возникновения аномалии, что позволило бы выявить ее причину. Анализ данных показал, что возможна коррекция (целенаправленное изменение параметров оборудования в пределах, разрешаемых регламентом эксплуатации) режима его работы с целью предотвращения развития нарушения.

Анализ состояния ГЦН-1 блока 5 Нововоронежской АЭС

Диагностический комплекс DINA-I применялся для диагностики ГЦН блока 5 Нововоронежской АЭС, где 14.05.1999 произошла авария ГЦН-1, связанная с разрушением торсиона электродвигателя. Нарушение произошло вследствие повреждения торсионной муфты ГЦН по механизму усталостного разрушения в результате циклических изгибных напряжений в шлицевой части из-за расцентровки вала двигателя и насоса в процессе эксплуатации.

Анализ данных эксплуатации ГЦН блока 5 НВАЭС осуществлялся в период с 3.03.1999 по 13.05.1999 г. Единственная сохранившаяся информация – это распечатки 10 технологических параметров, значения которых регистрируются раз в смену. Перечень параметров представлен в табл. 3. Измерения температуры воздуха, охлаждающего электродвигатель, пришлось исключить из анализа как недостоверные.

Таблица 3

№ пар.	Наименование параметра
1	Перепад давления на ГЦН
2	Расход запирающей воды на входе
3	Расход запирающей воды на сливе
4	Давление за первой ступенью
5	Давление запирающей воды на выходе
6	Давление входа в гидростатический подшипник
7	Перепад на гидростатическом подшипнике
8	Температура запирающей воды на сливе
9	Давление масла перед ГЦН
10	Температура масла на входе

С позиции разработанных методов для полного анализа состояния ГЦН представленного комплекса параметров недостаточно. На рис. 4 представлено поведение диагностического признака в зависимости от времени для четырех работающих ГЦН в рассматриваемый период. Здесь в качестве характеристики состояния насосов вводится новый, более удобный для анализа состояний ГЦН диагностический признак

$$H(t) = \frac{D_{ik}}{\bar{D}_k}, \tag{7}$$

где D_{ik} - квадрат отклонения от общего режима работы всех одновременно работающих ГЦН (5).

Для $i = \overline{1, G}$; G – число одновременно работающих ГЦН ($G=4$); k -номер точки (время).

$$\bar{D}_k = \frac{1}{G-1} \sum_{i=1, i \neq j}^G D_{ik}, \quad D_{jk} = \max\{D_{ik}\}_{i=1, G}.$$

При нормальном состоянии ГЦН в данный момент времени отношение (7) для всех насосов приблизительно равно единице.

Состояние ГЦН-1 блока 5 НВАЭС на всем рассматриваемом временном интервале нестабильно и отличается от одновременно работающих с ним насосов в среднем в два раза. Начиная с 20.04.1999 г. его состояние резко ухудшилось и оставалось таковым до разрушения торсиона 14.05.1999 г.

Информативными параметрами, указывающими на особенности режима работы ГЦН-1 пятого блока НВАЭС перед нарушением, оказались расходы запирающей воды на входе в уплотнение и на сливе из уплотнения, а также давление входа в гидростатический подшипник.

Как показал анализ, расход запирающей воды на сливе из уплотнения периодически превышает расход запирающей воды на входе в уплотнение, при этом увеличивает-ся температура запирающей воды на сливе и давление за первой ступенью (см. табл.4). Возможным объяснением этому факту является наличие протечек воды первого конту-ра через нижний гидростатический направляющий подшипник в уплотнение вала ГЦН.

Таблица 4

	Наименование параметров									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дата	Перепад	Расх. зап.	Расх. зап.	Р за 1-й	Р. зап. вд.	Р.вх.в гдр.	Пер.Р. на	Темп. зап.	Р масла	Т масла
ГЦН-1	Р ГЦН	вод.на вх.	вод.на сл.	ступ.	на вых.	подш.	гдр.подш.	вод.на сл.	пер. ГЦН	на входе
15.03.99	6,13	1,24	1,15	89	0,96	160,3	6,93	48,4	1,25	28,5
18.03.99	6,11	1,23	1,2	89,3	1,02	161,3	6,86	51,8	1,24	31,1
25.04.99	6,13	1,22	1,23	90,3	0,9	160	6,94	49,4	1,29	30
29.04.99	6,06	1,22	1,29	91,3	0,91	160,5	6,86	54,5	1,26	31,4
04.05.99	6,08	1,25	1,33	90,8	0,88	161	6,82	48,9	1,3	27,4
05.05.99	6,06	1,22	1,29	91,3	0,91	160,5	6,86	54,5	1,26	31,4
07.05.99	6,06	1,27	1,25	90,5	0,93	159,5	6,83	49,2	1,24	34,4
12.05.99	5,97	1,23	1,25	91	0,93	160	6,86	47,7	1,21	36,7
14.05.99	6,18	1,22	1,16	90,8	0,93	160,3	6,93	51,4	1,24	33,4
ГЦН-2										

Сравнение состояний ГЦН-2 Калининской АЭС и ГЦН-1 блока 5 НВАЭС показывает, что

- по крайней мере, за месяц до нарушения ГЦН-1 работал с повышенной вибрацией;
- при ревизии насоса следует обратить внимание на состояние направляющего гидростатического подшипника.

К сожалению, представленных данных по эксплуатации насосов блока 5 НВ АЭС явно не достаточно для более глубокого анализа причин возникновения нарушения 14.05.99г.

При постоянном контроле состояния ГЦН с использованием всех измеряемых параметров насосов аномалия в состоянии может быть выявлена на ранней стадии с определением причины ее возникновения и идентификации элемента оборудования, требующего замены.

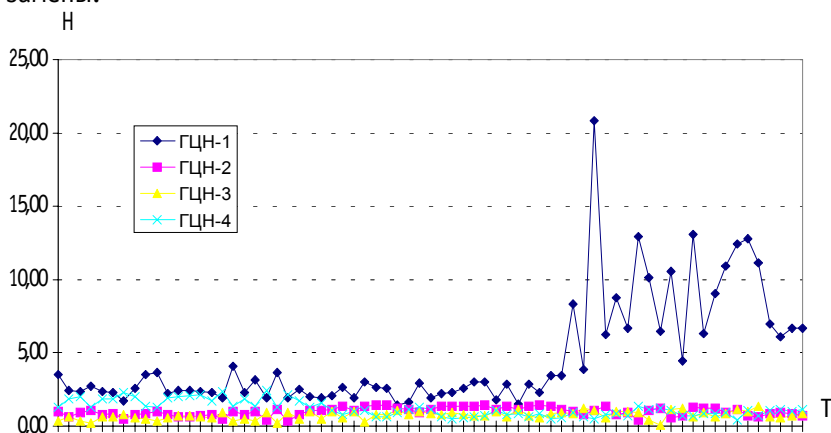


Рис.4 Изменение диагностического признака Н во времени

ВЫВОДЫ

Одной из основных проблем эксплуатации АЭС является своевременное обнаружение аномалии в состоянии ГЦН, когда технологические параметры находятся в пределах, определяемых регламентом нормальной эксплуатации (ранняя диагностика предаварийного состояния), с целью предотвращения ее развития до опасных для оборудования последствий.

Разработаны алгоритмы и комплекс программ DINA-1 ранней диагностики предаварийного состояния ГЦН. Обнаружение аномалии в работе насосов осуществляется в режиме текущей эксплуатации оборудования по анализу данных оперативного контроля.

С помощью разработанного программного комплекса DINA-1 анализировалось состояние ГЦН блока 1 Калининской АЭС и ГЦН блока 5 Нововоронежской АЭС. Было показано, что аномалия в состоянии насосов определяется с помощью комплекса программ на ранней стадии ее развития.

Литература

1. Аварии и инциденты на атомных электростанциях/*Под ред. С.П. Соловьева.* – Обнинск: ИАТЭ, 1992.
2. *Лескин С.Т.* Разработка алгоритмов распознавания аномалий в состоянии оборудования по анализу данных оперативного технологического контроля//Известия вузов. Ядерная энергетика. - 1997. - №4. - С. 4-11.
3. *Fukunaga K.* Introduction to Statistical Pattern Recognition. School of Electrical Engineering, Purdue University, Lafayette, Indiana. - New York and London: Academic Press, 1972.

Поступила в редакцию 1.03.2001

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.311.25:621.039.56

Program Complex DINA-I for VVER Main Circulation Pumps Diagnostics Based on Technological Monitoring Data Analysis \ S. T. Leskin, D. G. Zarjugin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 10 pages, 5 illustrations, 4 tables. – References, 3 titles.

The program complex for main circulation pumps (MCP) diagnostics (DINA-1) based on technological monitoring data analysis is developed. The results of the analysis of the fifth block Novovoronezh NPP and the first block Kalinin NPP MCP conditions are presented. The program complex is able to recognize an anomaly of MCP, when measured parameters of pumps do not exceed limits of normal operating.

УДК 621.311.25:621.039.58

Recommendations on Increasing Plant Safety Modifications Based on Novovoronezh NPP (unit 5) Level 1 Probabilistic Safety Analysis Results \ A. V. Lioubarski, I. B. Kouzmina, D. E. Noskov, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 7 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 11 titles.

The paper presents the results of level 1 internal events probabilistic safety analysis (PSA) for unit 5 of Novovoronezh NPP performed within the framework of the international project SWISRUS. The PSA results allow to identify different design features and operational aspects which are the most vulnerable for plant safety. It is discussed the measures on increasing the safety based on PSA results which have been implemented or planned to be implemented at the plant. It is shown that PSA allows to provide quantitative estimation of influence of identified defects on plant safety and to develop the modification program for unit 5.

УДК 621.311.25:621.039.58

Methodology and Main Results of Level 2 Probabilistic Safety Analysis for Unit 5 of Novovoronezh NPP \ D. E. Noskov, A. V. Lioubarski, I. B. Kouzmina, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 5 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.

The paper presents brief methodology of level 2 probabilistic safety analysis (PSA) for internal initial events of Novovoronezh Unit 5 performed within the framework of SWISRUS Project and main results obtained. The Level 2 PSA results provides the possibility to identify main types of containment failure and radioactive releases into environment.

УДК 621.311.25:621.039.58

Methodology Aspects and Results of Fire Probabilistic Safety Analysis for Unit 5 of Novovoronezh NPP \ I. B. Kouzmina, A. V. Lioubarski, D. E. Noskov, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 6 pages, 2 illustrations. – References, 6 titles.

The paper presents methodology aspects and preliminary results of internal fire probabilistic safety analysis (PSA) level 1 study for Unit 5 of the Novovoronezh NPP performed under the international project SWISRUS. It is discussed dominant contributors to the risk from internal fires for the researched plant unit and reasons causing estimated values of risk. It is shown that the risk associated with fires could be significant and comparable to the risk of internal initiated events. This indicates necessity of PSA fires for NPP units and accounting the results obtained when developing the safety-related modernization programs.

УДК 51-72:621.039.53

Estimation of Lifetime and Residual Lifetime Prognosis of Nuclear Power Plant Constructional Elements \ Y. G. Korotkih, O. S. Kopjeva; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 8 pages, 4 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.