

КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ВИБРОДИАГНОСТИКИ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС

А.О.Скоморохов*, М.Т.Слепов**

** Обнинский институт атомной энергетики, г.Обнинск*

*** Нововоронежская АЭС, г. Нововоронеж*



В статье рассматривается автоматизация процедуры отбраковки спектров системы вибрационного мониторинга, установленной на 3 и 4 блоках Нововоронежской АЭС. Описаны признаки, позволяющие разделить исходное множество спектров на классы "норма" и "не норма" и выбрать наиболее информативные признаки спектров. Произведено диагностирование конкретных видов неисправностей на основе разработанных авторами критериев.

ВВЕДЕНИЕ

Система вибрационного мониторинга Нововоронежской АЭС разработана фирмой Сименс (Германия) и введена в эксплуатацию в 1992 г. Предоставляя развитые средства измерения и предварительной обработки вибросигналов, система не имеет функций поддержки принятия решений при диагностировании, за исключением простейших, типа вывода графиков тренда отдельных спектральных составляющих. В этой связи актуальной представляется задача разработки методического, алгоритмического и программного обеспечения для автоматизации интеллектуальной обработки информации и поддержки процесса диагностирования при использовании системы вибромониторинга.

Первичной информацией для системы диагностирования являются спектры сигналов вибраций, получаемых с датчиков системы, установленных на различных элементах оборудования. В процессе эксплуатации системы на НВАЭС, особенно в начальный период, неоднократно регистрировались аномальные спектры. Под термином "аномальный спектр" следует понимать спектр, изменения которого вызваны не нарушениями в работе контролируемого оборудования, а различного рода неисправностями измерительных каналов. Среди таких неисправностей можно назвать, например, обрыв измерительных линий, замыкание на землю одной из обкладок пьезокристалла, неверная настройка канала, нарушение положения сейсмической массы и др.

Вероятность возникновения неполадок, приводящих в аномальному виду спектров, достаточно высока. Так, среди 2304 спектров, анализируемых в настоящей статье, экспертами были признаны аномальными 25% и еще 10% классифицированы как «подозрительные». Важность задачи контроля достоверности информации в рассматриваемой системе определяется тем, что

- наличие аномальных спектров в выборке данных приведет к искажению результатов работы всех алгоритмов анализа и диагностирования;

© **А.О.Скоморохов, М.Т.Слепов, 1999**

- наличие аномальных спектров среди результатов измерения свидетельствует о наличии в измерительных каналах неисправностей, подлежащих скорейшему устранению.

В настоящей статье рассматриваются методы, позволяющие автоматизировать решение двух следующих задач:

- контроль достоверности измерительной информации (спектров вибраций) с отбраковкой аномальных результатов;
- диагностирование вида неисправности измерительного канала, послужившей причиной появления аномального спектра.

СИСТЕМА ВИБРОДИАГНОСТИКИ НВАЭС

Для выполнения своих функций система имеет первичные преобразователи различного типа, аппаратуру обработки сигналов и средства для представления полученной информации пользователю. Вся вторичная аппаратура размещена в двух стойках, находящихся в "чистой зоне" (помещение Лаборатории технической диагностики). В зоне "строгого режима" находятся датчики и станция предварительного усиления. На рис.1 представлена схема установки датчиков на 4 блоке НВАЭС. Другая информация об используемых датчиках приведена в табл.1.

Сигналы ДАП и ДОП попадают на усилитель несущей частоты, где происходит их демодуляция и преобразование в стандартный диапазон напряжения ($\pm 10\text{В}$). Сигнал ДАП после усиления несущей частоты подается на корректирующий усилитель, который компенсирует нелинейность характеристики датчика в низкочастотной области (до 5 Гц).

Фильтрация сигналов, аналого-цифровое преобразование (АЦП) и быстрое преобразование Фурье (БПФ) производится в специальном сигнальном процессоре MOSIP. Аналоговая фильтрация осуществляется фильтром Баттерворта с частотой среза 200 Гц, частота дискретизации 1024 Гц. При проведении БПФ применяется окно Ханнинга и производится усреднение до 100 выборок.

Авто- и кросспектры рассчитываются в диапазонах 0 – 50 Гц, 0 – 200 Гц и записываются на жесткий диск персонального компьютера системы (IBM PC AT 386), где ведется дальнейшая обработка данных.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для отработки алгоритмов автоматического разделения спектров на классы "норма" и "аномалия", а также для определения причин, вызывающих аномальные отклонения, была сформирована обучающая выборка, в которую вошли все спектры, полученные во время измерений с 1993 по 1997 гг. Типичные спектры для исправного состояния измерительных каналов по каждому типу датчиков и их краткие характеристики представлены в табл.2. В табл.3 приведены примеры спектров с различного вида нарушениями.

Деление спектров обучающей выборки на классы проводилось экспертами, имеющими длительный опыт работы с системой. Спектры, отнесенные к классу аномальных спек-

Таблица 1

Датчики системы вибродиагностики

Тип датчика	Сокращение	Обозначение на схеме	Число датчиков	Места установки
Абсолютных перемещений	ДАП	A1-A4	4	Корпус реактора
Относительных перемещений	ДОП	RA-RX	24	ПГ, ГЦН
Пульсаций давления	ДПД	P1-P4	4	Реактор, трубопроводы

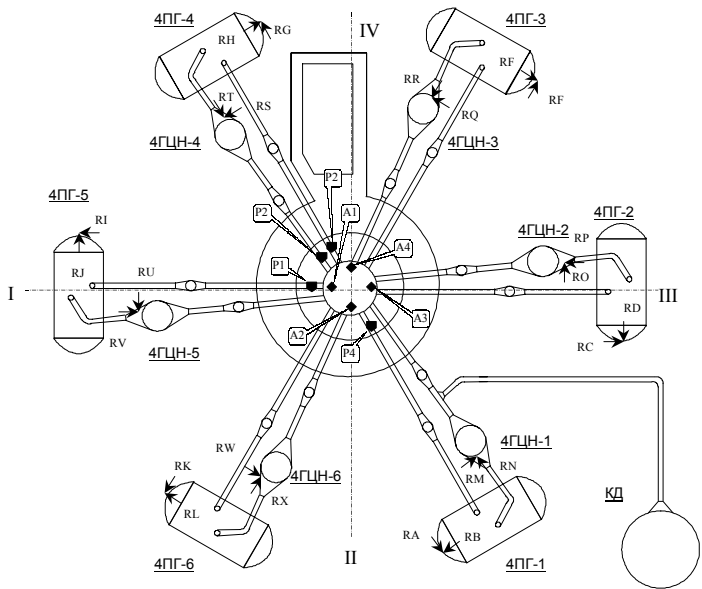


Рис.1. Размещение датчиков системы вибрационного мониторинга на 4 блоке НВАЭС

тров, были тщательно проанализированы, с целью определения причин аномалии. Для точного выяснения природы возникающих неисправностей проводились специальные измерения с имитацией различных нарушений в работе измерительных каналов. Так, например, обрыв измерительных линий имитировался отключением датчика от системы.

ПРОГРАММНЫЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА

Анализ данных и разработка алгоритмов проводились в среде Dyalog APL для операционных систем Windows 95/98/NT [1]. APL, как язык программирования специально ориентированный на обработку массивов информации, представляет собой чрезвычайно эффективное средство для быстрой разработки сложных алгоритмов и программ анализа больших наборов данных, в том числе в области диагностирования АЭС [2].

С точки зрения анализа наборов спектров, мощным и удобным типом данных являются, так называемые обобщенные массивы [3], т.е. массивы, элементами которых, в свою очередь, являются другие массивы (векторы, матрицы, многомерные массивы) данных. Представление набора спектров как вектора векторов позволяет легко и не меняя имеющихся программ получать как индивидуальные характеристики каждого спектра, так и сводные статистики по всему массиву.

Важным преимуществом работы в среде Dyalog APL являются развитые возможности создания полнофункциональных приложений для Windows, включая интерфейс к базам данных, использование механизмов DDE, OLE и OCX. При этом базой для построения такого приложения является набор программ, созданный на стадии исследований, что сокращает переход от анализа данных и разработки алгоритмов к полноценным системам диагностирования, ориентированным на пользователя.

При разработке методов и алгоритмов, представленных в данной статье использовался аппарат распознавания образов, эффективность которого для решения задач шумовой диагностики обсуждалась, например, в [4]. В качестве основных программных средств применялся разработанный авторами пакет прикладных программ по распознаванию образов [5], включающий процедуры поиска информативных признаков и сокращения размерности, кластерного анализа и построения решающих правил.

Таблица 2

Спектры датчиков при отсутствии неисправностей

№	Тип датчика и характеризующие признаки спектра	Типичный вид спектра
1.	<u>Спектр ДАП.</u> Наличие пика оборотной частоты (24.625 Гц) и низкочастотной составляющей (1 Гц). В диапазоне 25÷50 Гц нет ярко выраженных пиков, за исключением 2-ой гармоники оборотной частоты (49.375 Гц).	
2.	<u>Спектр ДОП - ГЦН.</u> Наличие пика оборотной частоты (24.625 Гц) и низкочастотной составляющей (1 Гц). В диапазоне 25÷50 Гц в отличие от ДАП, кроме 2-ой гармоники оборотной частоты (49.375 Гц) присутствуют другие пики.	
3.	<u>Спектр ДОП - ПГ.</u> Наличие пика оборотной частоты (24.625 Гц) и низкочастотной составляющей (1 Гц). В диапазоне 25÷50 Гц в отличие от ДАП, кроме 2 гармоники оборотной частоты (49.375 Гц) присутствуют другие пики.	
4.	<u>Спектр ДПД.</u> Наличие пика оборотной частоты (24.625 Гц) и низкочастотной составляющей (1 Гц). Два характерных только для ДПД пика (~6 Гц и ~8 Гц), образуемых двумя стоячими акустическими волнами.	

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ДАННЫХ

В задачи экспресс-анализа данных входила проверка принципиальной возможности автоматического выделения спектров, отнесенных экспертами к классу «аномалия» и предварительное определение набора классификационных признаков. Каждый спектр представлялся точкой в 400-мерном пространстве признаков:

$$\vec{X}' = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где \vec{X}' - транспонированный вектор \vec{X} с координатами x_i , $i=1,2,\dots,n$ - значениями спектральной плотности мощности (СПМ) на частотах f_i . $n=400$ - число дискретных точек оценки СПМ в диапазоне частот 1÷50 Гц.

Для устранения влияния фактора масштаба (например, различия коэффициентов усиления при проведении измерений) все спектры нормировались на длину, т.ч. после нормировки выполнялось:

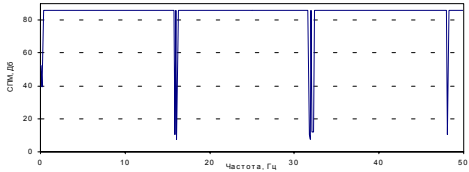
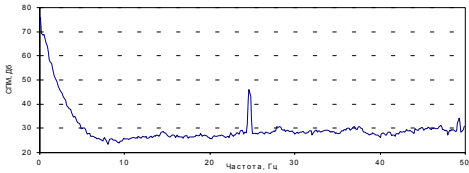
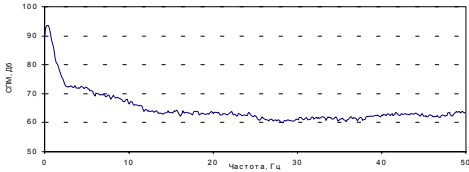
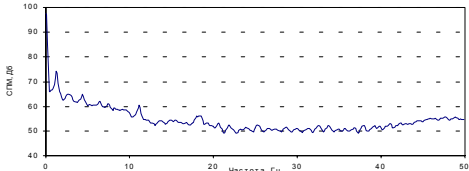
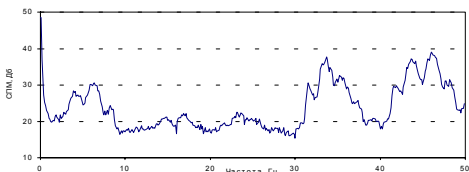
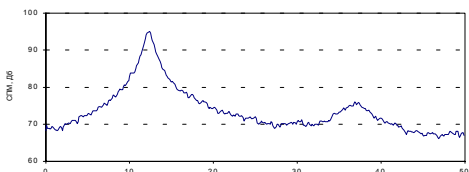
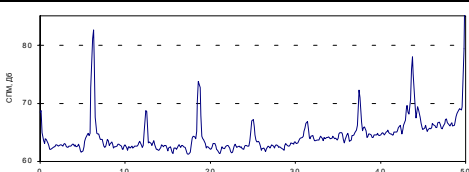
$$\sum_{i=1}^{400} x_i^2 = 1.$$

Класс нормальных спектров был описан как куб (параллелепипед) в 400-мерном пространстве признаков. В качестве границ выбирались максимальные и минимальные значения спектров нормальной выборки по каждой частоте. Такие границы, а также средний по классу «норма» спектр, приведены на рис.2.

Далее, каждый классифицируемый спектр относился к классу «аномалия», если значение СПМ, хотя бы на одной частоте, выходило за определенные для нормаль-

Таблица 3

Спектры датчиков при наличии дефектов

№	Тип дефекта и характеризующие признаки	Типичный вид спектра
1.	<u>Обрыв измерительных линий.</u> Характерен для ДАП, ДОП и ДПД. В спектре постоянный участок с резкими провалами.	
2.	<u>Нарушение положения сейсмической массы.</u> Характерен только для ДАП. Отсутствие в спектре пиков, за исключением низкочастотной составляющей вибрации (~ 1 Гц) и пика оборотной частоты (~24.625 Гц).	
3.	<u>Повреждение подвески сейсмической массы.</u> Характерен только для ДАП. Полное отсутствие пиков в спектре.	
4.	<u>Неверная настройка канала ДОП.</u> Характерен только для ДОП. Отсутствие ярко выраженных пиков в спектре.	
5.	<u>Емкостное рассогласование плеч измерительного моста.</u> Характерен только для ДОП. Отсутствие основных пиков и наличие протяженных областей с максимальной амплитудой в диапазоне от 30÷50 Гц.	
6.	<u>Замыкание на землю одной из обкладок пьезокристалла.</u> Характерен только для ДПД. Наличие одного мощного пика (~ 14 Гц) и отсутствие других.	
7.	<u>Замыкание на землю одной из обкладок пьезокристалла.</u> Характерен только для ДПД. Отсутствие плавного спада фонового уровня в низкочастотной области и наличие острых пиков, не типичных для спектров ДПД.	

ных спектров границы. Таким образом удалось правильно распознать все спектры класса «аномалия».

Для минимизации числа используемых признаков применялась следующая процедура:

- среди исходных $n=400$ признаков определялась частота, по которой отбраковывается максимальное число спектров класса «аномалия»;
- спектры, отнесенные к классу «аномалия» по выделенной частоте, удалялись из выборки;
- шаги 1-2 повторялись для $n=399, n=398, \dots$ до тех пор, пока в выборке оставались неклассифицированные спектры.

Оказалось, что исходных для правильной классификации всех аномальных спектров достаточно использовать всего 6 признаков из исходных 400. На рис.3 представлено распределение точек обоих классов на плоскости двух наилучших из 6 признаков. Как и следовало ожидать, классы на этой плоскости пересекаются.

Выберем для рассмотрения один из спектров класса «аномалия», попадающий в область пересечения. Этот спектр, вместе с границами класса «норма», приведен на рис.4. Видно, что на частотах 8.6 и 24.7 Гц данный спектр, действительно, лежит в границах класса «норма». Его правильная классификация по всем 6 признакам оказалась возможна только из-за небольшого выхода за границы в области 45-50 Гц. Приведенный пример показывает, что классификация на основе уставок не представляется достаточно надежной.

Для надежной классификации необходима максимизация расстояния между классами. Поиск соответствующих признаков проведен в следующем разделе.

ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ

Случайный поиск с адаптацией

Случайный поиск с адаптацией (СПА) [6-7] решает задачу выбора из исходного множества n признаков наилучшей, в смысле заданного критерия подсистемы из $m < n$ признаков. Алгоритм может быть описан следующим образом:

- задать равномерное распределение случайного выбора каждого из n исходных признаков в группу из m наиболее информативных признаков;
- в соответствии с текущим распределением вероятности выбрать случайно группу из m признаков и вычислить значение критерия информативности. Повторить шаг 2 r раз, где r - параметр алгоритма, например $r=20$;
- выбрать среди r вариантов, оцененных на шаге 2, лучший и худший по значению критерия. Увеличить вероятности выбора признаков («поощрение»), которые вошли в лучший по значению критерия вариант, добавляя dP , где $0 < dP < 1$ - параметр алгоритма.

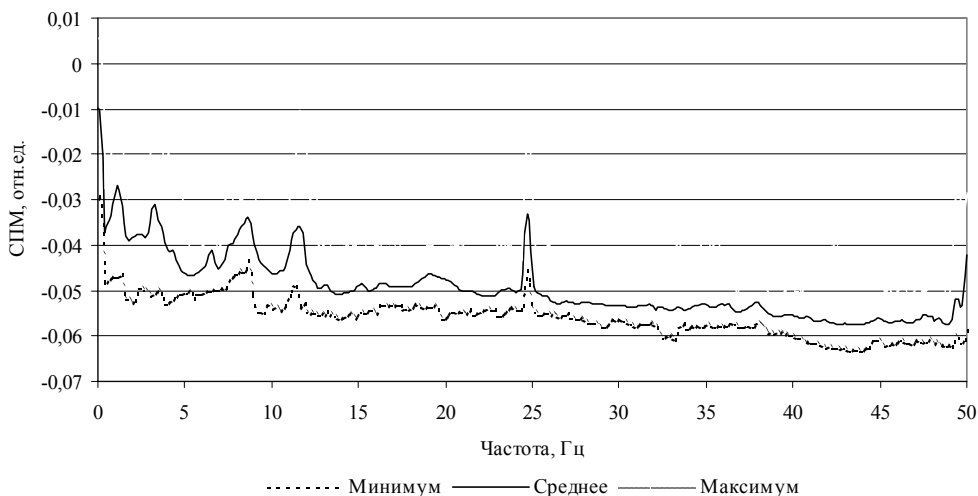
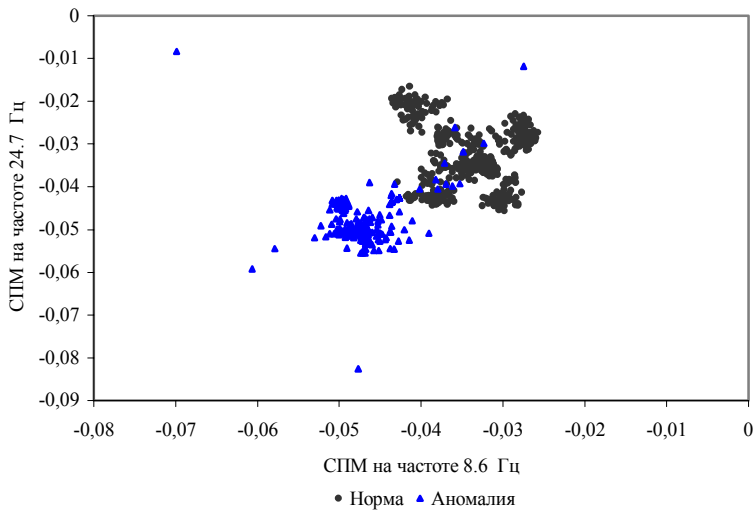


Рис.2. Средний спектр и границы класса «норма»



Уменьшить вероятности выбора признаков («наказание»), которые вошли в худший по значению критерия вариант, используя то же самое значение dP . Сумма вероятностей после этих изменений останется равна 1.

- повторить шаги 2 и 3 R раз, где R - параметр алгоритма, например, $R = 30$;
- выбрать в качестве

Рис.3. Представление классов на плоскости двух наилучших признаков в качестве оптимальной подсистемы признаков, для которой достигнуто наилучшее по всем $R \times r$ испытаниям, значение критерия информативности.

Каждый повтор шага 2 выполняется с модифицированным распределением вероятностей выбора признаков. Именно в этом и заключается механизм адаптации поиска. Скорость адаптации зависит от параметра dP . При $dP = 0$ адаптация отсутствует и алгоритм работает как метод Монте-Карло. Максимальное значение для dP равно стартовому значению вероятности P_0 . При этом значении на шаге 3 вероятности признаков, попавших в наихудший вариант, сразу зануляются и не участвуют в дальнейшем переборе. Значение параметра r влияет на статистическую значимость выбора лучшего и худшего испытаний на шаге 2. Наконец, значение параметра R определяет число шагов процесса адаптации. С увеличением R качество решения приближается к точному решению, получаемому полным перебором.

Алгоритм допускает использование разнообразных критериев качества подсистемы признаков, например, числа ошибок классификации с использованием данной подсистемы признаков. Нами использовалось расстояние между проекциями классов на дискриминант Фишера.

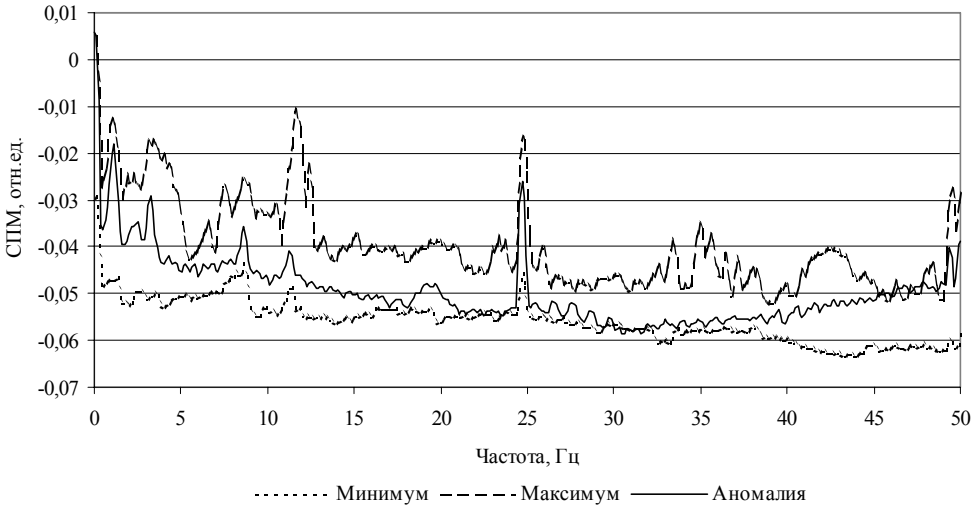


Рис.4. Пример аномального спектра относительно границ класса «норма»

ДИСКРИМИНАНТ ФИШЕРА

Рассмотрим два набора точек $x_1^u, x_2^u, \dots, x_N^u$ и $y_1^u, y_2^u, \dots, y_M^u$ в n -мерном пространстве признаков. Дискриминант Фишера [8] определяет такое направление \vec{w} в исходном пространстве, проектирование на которое точек ($\vec{w}^u x$ и $\vec{w}^u y$) максимизирует расстояние между классами в виде:

$$\frac{(m_x - m_y)^2}{s_x^2 + s_y^2},$$

где m и s - средние значения и вариации для каждого класса.

Искомое направление определяется как

$$\vec{w} = S^{-1}(\vec{m}_1 - \vec{m}_2),$$

где S - суммарная матрица внутриклассовых разбросов, а \vec{m}_1, \vec{m}_2 - средние векторы каждого класса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Алгоритм СПА с критерием оптимизации в виде расстояния между проекциями классов на дискриминант Фишера применялся для поиска оптимальной подсистемы из $m=20$ признаков со следующими параметрами: $R=10000$, $r=20$, $dP=2.5E-7$. Таким образом, всего было проведено 200 тыс. испытаний, что значительно меньше полного перебора возможностей $C_{400}^{20} \approx 1.61E27$. В результате получена система информативных признаков, позволяющая безошибочно классифицировать все спектры классов «норма» и «аномалия». Распределение проекций Фишера для найденной системы информативных признаков приведено на рис.5. Эти проекции (взвешенные линейные комбинации 20 наиболее информативных признаков) представляют, по сути, единый обобщенный признак, позволяющий решать поставленную задачу. Близкое к гауссовскому распределение внутри каждого класса позволяет представить каждый класс эталоном (средним значением) и приписать наблюдаемый разброс влиянию случайных факторов

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ВИДА НЕИСПРАВНОСТИ

В заключение остановимся кратко на диагностировании вида неисправностей, приводящих к получению аномальных спектров. Для решения этой задачи использовался следующий эвристический подход:

• эксперты перечисляли все возможные виды неисправностей измерительных каналов, как наблюдавшиеся в процессе эксплуатации, так и промоделированные при проведении данного исследования;

• экспертами отбирались спектры, характерные для каждого вида неисправностей, и проводилось словесное

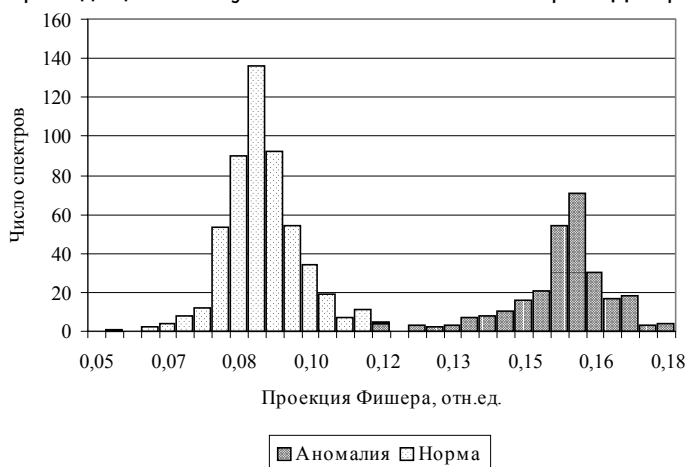


Рис.5. Разделение классов на оси дискриминанта Фишера

описание признаков, присущих этим спектрам, например, отсутствие выраженных пиков, наличие протяженной постоянной составляющей и др.; примеры приведены в табл.3;

- разработчики алгоритма предлагали математическую формулировку соответствующих признаков (критериев) в виде функции $s = f(X)$, позволяющей для заданного спектра X вычислить скалярное значение s критерия; каждый критерий реализовывался в виде отдельной вычислительной программы;
- на материале обучающей выборки проводилась оптимизация параметров алгоритма и пороговых значений критерия.

В результате был разработан ряд критериев, а именно:

- количество уникальных значений спектра;
- размах второй производной спектра;
- положение центра тяжести спектра;
- мощность спектра за вычетом фона;
- ранг пика обратной частоты ГЦН в выборке амплитуд спектра;
- положение максимального значения спектра на частотной оси;
- количество пиков в спектре.

Совместное применение указанных критериев может быть представлено в виде дерева решений, приведенного на рис.6 (на рисунке ветви, соответствующие выполнению критерия аномальности, обозначены как 1). Применение указанного алгоритма позволило точно провести диагностирование всех видов неисправностей. Отметим, что при появлении новых типов неисправностей измерительных каналов и разработке критериев их выявления, представленный алгоритм может быть легко модифицирован.

Выводы

Предлагаемые в настоящей работе методики анализа спектров вибраций использованы при разработке программного обеспечения контроля достоверности информации и диагностирования отказов датчиков, используемого на НВАЭС.

Алгоритм случайного поиска с адаптацией, совместно с критерием Фишера, показали высокую эффективность для выявления системы наиболее информативных признаков. Разработанный алгоритм позволил безошибочно распознать все спектры класса «аномалия».

Использование языка сверхвысокого уровня APL позволило легко реализовать и оптимизировать широкий набор критериев, позволяющих проводить диагностирование вида неисправности измерительного канала.

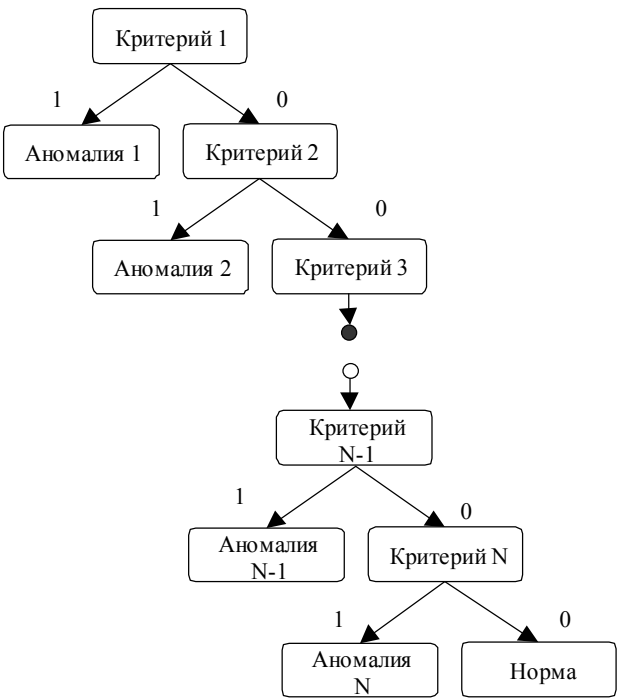


Рис.6. Дерево решений для диагностирования вида неисправностей

Список литературы

1. Dyalog APL for Windows. User's Guide. Dyadic Systems, 1998.
2. *Skomorokhov A.O.* Nuclear Power Plant Diagnostics in APL, APL Quote Quad, (pp.289-300), ACM Press. - August 1991. - Vol.21. - №.4 .5. *Skomorokhov A. and Slepov M.* Pattern Recognition in APL with Application to Reactor Diagnostics.
3. *А.О.СкомороховА.О.* Язык программирования APL2 (Ч. I)// Мир ПК. - 1993.- №3.
4. *Mogilner A.I., Skomorokhov A.O., Shvetsov D.M.* On the Problem of Noise Spectra Classification in Nuclear Power Plant Operation Diagnostics// Nuclear Technology. - 1981. - Apr.- Vol.53.
5. *Skomorokhov A. and Slepov M.* Pattern Recognition in APL with Application to Reactor Diagnostics.
6. *Slagle J.R.* Artificial Intelligence: The Heuristic Programming Approach.- McGraw-Hill Book Company. - N.Y., 1971.
7. *Lbov G.S.* Selection of an effectiveness system of dependent attributes.- US Government Res. and Develop. Rep. - 1969. - Feb.25, AD-679657. - V.69. - P.78.
8. *Duda R. and Hart P.* Pattern Classification and Scene Analysis, John Wiley and Sons. - NY. - 1973.

Поступила в редакцию 5.03.99.

УДК 519.688:621.039.58

Information Authenticity Control in Vibro-Diagnostics System of the Novovoronezh NPP \ A.O.Skomorokhov, M.T.Slepov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 10 pages, 3 tables, 6 illustrations. - References, 8 titles.

The paper is devoted to the questions of automation of spectrum spoilage check procedure for the vibration monitoring system installed at 3 and 4 units of the Novovoronezh NPP. The indications are described which allow to divide the original set of spectra into the "normal" and "abnormal" classes. The selection of the most informative spectrum indications is demonstrated. The diagnostics of specified faultiness is made based on the criteria developed by the authors.

УДК 541.15+543.51

Main Objectives of the Ecological Estimation of Properties of Secondary Substances Formed after Contaminated Food Irradiation \ T.V. Melnikova, L.P. Polyakova, G.V. Kozmin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 5 tables, 1 illustration. - References, 11 titles.

The problem of secondary contamination of irradiated food by organochlorinated pesticides (OCP) residues that degraded upon treatment with ionizing radiation is discussed in this article. The absence of systematic concept in the solution of the problem at the reviewed publications is demonstrated. On the base of performed OCP monitoring the concentration ranges of the OCP are determined at that types of food which can be exposed to radiation treatment. Irradiation of model objects is carried out and the estimation of OCP degradation is given. The methods investigating of new chemical compounds that are formed after the irradiation of OCP containing objects are proposed.

УДК 621.039.6

The Energetic Approach to Solve the Problem of Tokamak Plasma Control with Gas Puffing \ O.N. Alexandrova, N.V. Pashatsky; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 5 pages, 2 illustrations. - References, 12 titles.

The interaction processes between the molecular hydrogen being injected into tokamak's camera and plasma were studied at the current increase stage. Using energetic approach the criterion of optimum gas puffing was calculated.

УДК 621.039.526:621.039.534.6

Lead Coolant for Fast Reactor-Burner with Hard Neutron Spectrum \ G.L. Khorasanov, A.P. Ivanov, V.V. Korobeinikov, A.I. Blokhin, A.L. Shimkevich; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 5 pages, 5 tables, 4 illustrations. - References, 4 titles.

The possibility of increasing minor actinides (MA) burn out efficiency due to their fission in a fast reactor with lead isotope, Pb-208, as a coolant is considered. Calculation of MA fission and capture rate in a fast reactor blanket with different coolants: sodium, lead natural, and lead isotope, Pb-208, is given. It is shown that the use of Pb-208 in the fast reactor results in increase by 20-30 percent of MA incineration in comparison with a conventional fast reactor. The induced radioactivity of sodium, bismuth, lead, and its stable isotopes is analyzed.

УДК 539.17.013

Simulation of Periodic Structures in Distribution of Defects, Generated in NPP Structures Materials by the Stationary Source \ I.R.Bagdasarova, V.A.Galkin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages. - References, 14 titles.