

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НАСОСОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИХ ИСПЫТАНИИ

С.Т. Лескин, В.И. Слободчук, А.С. Шелегов, Д.Ю. Кашин

*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ
249030, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, 1*



Представлен алгоритм анализа состояния насосов системы аварийного ввода бора по данным их периодического опробования. Метод и алгоритмы основаны на представлении результатов опробования в пространстве главных компонентов. Такой подход позволяет сократить количество анализируемых параметров без потери информативности результатов испытаний и представить данные в удобной для оценки и принятия решений форме. Для анализа используется динамическая составляющая результатов периодического опробования, т.е. изменение параметров технологического контроля от начала испытания до выхода на стационарный режим. Данные этой части опробования оказываются наиболее информативными с точки зрения определения нарушений в работе системы. Данный алгоритм применен для обработки результатов испытания насосов системы аварийного ввода бора Калининской АЭС. Обнаружено аномальное поведение одного из насосов системы.

Key words: диагностика насосов, набор информативных признаков, метод главных компонентов, теория распознавания образов.

ВВЕДЕНИЕ

Система аварийного ввода бора (САВБ) реактора типа ВВЭР-1000 по характеру выполнения функций является защитной системой безопасности.

САВБ предназначена для подачи раствора борной кислоты в первый контур при авариях, связанных с введением положительной реактивности в активную зону реактора с сохранением высокого давления в контуре. В подобных ситуациях требуется надежный останов реактора путем ввода высококонцентрированного (40 г/кг) раствора борной кислоты в первый контур.

САВБ состоит из трех независимых групп. Каждая группа состоит из двух подгрупп: низкого давления и высокого давления. В состав каждой подгруппы входит бак концентрированного раствора борной кислоты, насос, трубопроводы и арматура.

Оценка состояния насосов системы аварийного ввода бора высокого и низкого давления на АЭС с ВВЭР имеет особенности. Традиционно контроль состояния насосов САВБ проводится посредством периодических испытаний, в ходе которых измеряется ряд технологических параметров. Вывод о нормальном состоянии насосов осуществляется, если после включения его параметры (давление, расход и т.д.) соответствует регламентным значениям. Для своевременного обнаружения аномалии в состоянии насоса испытания

© С.Т. Лескин, В.И. Слободчук, А.С. Шелегов, Д.Ю. Кашин, 2017

необходимо проводить как можно чаще. Проблема заключается в том, что каждый запуск насоса приводит к уменьшению его ресурса. Фактически выход из строя насосов САВБ происходит именно вследствие испытаний.

Опыт разработки систем диагностики [1 – 6] показывает, что обнаружение аномалии на ранней стадии ее развития следует искать на основании анализа совокупности большого числа измеряемых параметров объекта и выделения из этой совокупности информативных параметров, определяющих особенности в работе оборудования [7 – 13].

Анализ работы насосов САВБ показал, что количества информации в измеряемых параметрах для оценки их состояния явно недостаточно. В этом случае, на наш взгляд, дополнительную информацию следует искать в динамике измеряемых параметров при включении насосов [14, 15].

В работе представлены метод и алгоритмы формирования исходных признаков и их преобразование в удобный для анализа и принятия решения вид.

С помощью разработанных алгоритмов обработаны данные испытаний насосов САВБ Калининской АЭС. Получены важные для практики результаты.

ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

При проведении испытаний насосов запись измеряемых параметров осуществляется в файлы исходных данных. Предварительно исходные данные измерений приводятся к единому интервалу времени. Для этой цели проводится предварительная обработка – интерполяция исходных данных методом кубической интерполяции (метод Лагранжа) [16]. Для произвольно заданных узлов интерполирования используется интерполяционная формула Лагранжа

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n y_i \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)(x_i-x_1)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)},$$

где y_i – значение i -го измерения; x_i – время, когда проводилось i -ое измерение; x – точка, для которой вычисляется интерполированное значение; n – число измерений.

ФОРМИРОВАНИЕ МАТРИЦЫ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ

Сравнивая кривые зависимости поведения параметров во время испытаний насосов одного типа для различных календарных дат, можно заметить, что некоторые участки графиков не изменяются от испытания к испытанию. Другими словами, они не являются информативными по отношению к выявлению изменения состояния насосов, т.е. являются «шумом», подлежащим фильтрации.

Для исключения этих интервалов данные испытаний для каждого типа насосов обрабатываются по следующей схеме. Каждому параметру ставится в соответствие матрица интерполированных данных вида

$$\begin{pmatrix} \Pi_{11} & \dots & \Pi_{1j} & \dots & \Pi_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{i1} & \dots & \Pi_{ij} & \dots & \Pi_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{N1} & \dots & \Pi_{Nj} & \dots & \Pi_{Nk} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где Π_{ij} – значение параметра (давление, температура или расход), измеренное в i -ом испытании и соответствующее j -му временному интервалу; $i = (1, \dots, N)$, N – общее число испытаний для данного типа насосов; $j = (1, \dots, K)$, K – число временных интервалов, на которые разбивается одно испытание.

Временные сечения для отдельных параметров по каждому типу насоса, которые в наибольшей степени отражают изменения в динамике их работы, выбираются в резуль-

тате анализа столбцов матриц (1) с использованием понятия энтропии [17]:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i, \quad (2)$$

где p_i – вероятность i -го состояния параметра X ; N – число состояний системы.

Энтропия обладает рядом свойств, оправдывающих ее выбор в качестве характеристики вероятностного разброса данных. Для выбора наиболее информативного участка кривой воспользуемся тем свойством, что энтропия обращается в максимум, когда все состояния системы равновероятны. Это означает, что чем меньше энтропия системы, тем большую вероятность имеют какие-то ее отдельные состояния. Будем рассматривать значения какого-либо параметра на фиксированном участке кривой в разных испытаниях как возможные состояния системы. В таком случае применительно к нашей задаче можно сказать, что чем меньше энтропия временного сечения кривой, тем в большем числе испытаний значения параметра на этом участке принимают близкие, похожие значения, т. е. имеют тенденцию повторяться от испытания к испытанию. Таким образом, основную информацию несут в себе временные сечения, обладающие максимальной энтропией, в которых значения параметра равновероятны (т. е. те сечения, в которых наблюдается наибольший разброс данных).

Из полученных по описанной схеме наиболее отличающихся друг от друга участков кривых (временных сечений) для различных измеряемых параметров формируется матрица информативных признаков для насосов высокого давления

$$\begin{matrix} P02_{11} & P02_{21} & P02_{31} & F01_{11} & F01_{21} & F01_{31} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P02_{1N} & P02_{2N} & P02_{3N} & F01_{1N} & F01_{2N} & F01_{3N} \end{matrix} \quad (3)$$

и для насосов низкого давления

$$\begin{matrix} P01_{11} & P01_{21} & P02_{11} & P02_{21} & F01_{11} & F01_{21} & T04_{11} & T04_{21} & T04_{31} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P01_{1N} & P01_{2N} & P02_{1N} & P02_{2N} & F01_{1N} & F01_{2N} & T04_{1N} & T04_{2N} & T04_{3N} & \dots \end{matrix}, \quad (4)$$

где N – число измерений.

Количество информативных признаков, используемых для дальнейшего анализа, как показал опыт обработки данных, должно быть не более пяти (т.е. не более пяти временных сечений для каждого измеряемого параметра).

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МАТРИЦЫ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ В ПРОСТРАНСТВО ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Так как данные, включенные в матрицу информативных признаков (будем называть ее матрицей исходных данных), разнородны, проводится их нормирование на среднеквадратичное отклонение. Нормированные данные будут иметь вид

$$x_{ij}^{norm} = (x_{ij} - m_j) / d_j, \quad (5)$$

где $i = (1, \dots, N)$, N – объем выборки; $j = (1, \dots, n)$, n – число признаков.

Среднеквадратичное отклонение j -го признака

$$d_j = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ij} - m_j)^2}, \quad (6)$$

где m_j – вектор средних значений j -го параметра

$$m_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}, \quad (7)$$

x_{ij} – элемент матрицы исходных данных, соответствующий i -му испытанию и j -му признаку.

Для анализа структуры данных и выявления особенностей поведения насосов необходимо перейти от большого числа исходных признаков (n) к существенно меньшему числу наиболее информативных, являющихся функциями от исходных признаков. Есть, по крайней мере, три предпосылки, позволяющие сократить размерность исходных данных: во-первых, дублирование информации при наличии сильно взаимосвязанных признаков; во-вторых, наличие признаков, мало меняющихся от одного измерения к другому; в-третьих, возможность представления некоторых признаков без существенной потери информации в виде линейных функций от других признаков.

Воспользуемся разложением Карунена-Лоева [18, 19], применявшимся для представления состояния и диагностики ГЦН АЭС [20]. Исходное пространство признаков проектируем в пространство двух собственных векторов корреляционной матрицы (главных компонент), построенной на исходных данных (информативных признаках, отобранных по правилу (2)), соответствующих максимальным собственным значениям.

В большинстве случаев два главных компонента содержат 90% информации о распределении исходных данных, в данном случае – испытаний насосов. Если испытания мало отличаются друг от друга, точки в новом пространстве образуют класс, который назовем «общий режим». Отклонения от общего режима означают изменения условий испытания либо аномалию в состоянии насоса. Анализ весов параметров (давления, температуры и т.д.) при проектировании в пространство главных компонент может дать дополнительную информацию о причинах отклонения отдельных испытаний от общего режима.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ НАСОСОВ

Данные испытаний насосов системы аварийного ввода бора низкого давления первого энергоблока Калининской АЭС обрабатывались с помощью описанного выше метода. На первом этапе анализа состояния насосов САВБ низкого давления этой станции были получены данные по 25-ти испытаниям за 2005 – 2006 гг.

После обработки исходных данных и представления результатов испытаний насосов в главных компонентах оказалось, что данные по насосу TJ13D01 в испытаниях от 16.02.2006 и 22.06.2006 гг. выделяются в общей совокупности результатов (рис. 1).

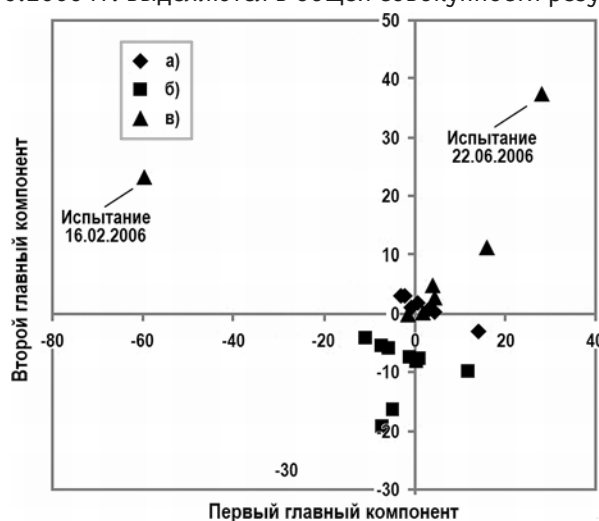


Рис. 1. Данные испытаний насосов низкого давления за 2005 – 2006 гг. в главных компонентах: а) – насос TJ11D01; б) – насос TJ12D01; в) – насос TJ13D01

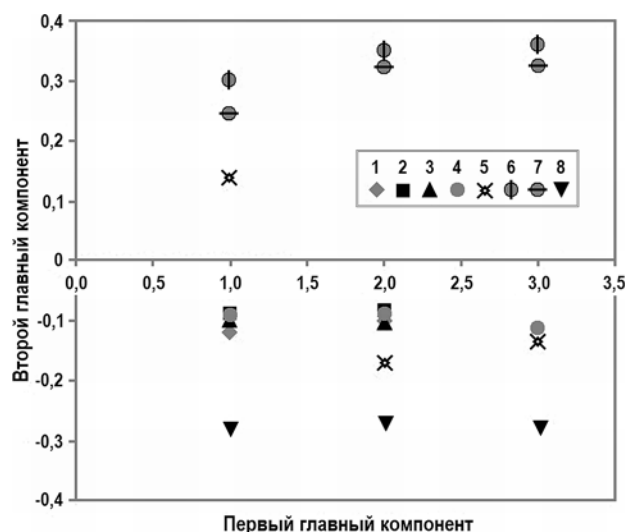


Рис. 2. Веса параметров для насосов низкого давления: 1 – 4 – температура в контрольных точках; 5 – давление; 6 – 8 – измеряемые расходы

Анализ вкладов (весов) информативных признаков в представление испытаний насоса TJ13D01 в главных компонентах (рис. 2) показал, что отклонения в испытаниях 16.02.2006 и 22.06.2006 гг. связаны с особенностями динамики расходов.

На рисунках 3, 4 представлены изменения расходных характеристик насоса TJ13D01 в указанных испытаниях, а также для сравнения (рис. 5) в испытании от 26.01.2006 г. того же насоса, где не было замечено отклонений.

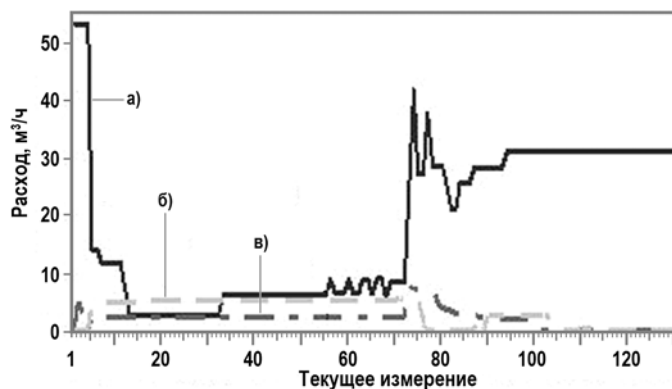


Рис. 3. Изменение во времени параметров насоса TJ13D01 для испытания от 16.02.2006 г.: а) – расход насоса; б) – расход на подшипники; в) – расход рециркуляции

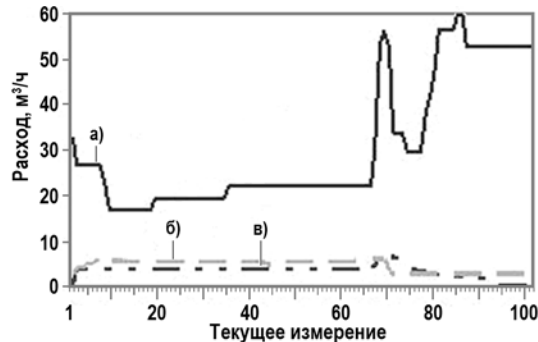


Рис. 4. Изменение во времени параметров насоса TJ13D01 для испытания от 22.06.2006г.: а) – расход насоса; б) – расход на подшипники; в) – расход рециркуляции

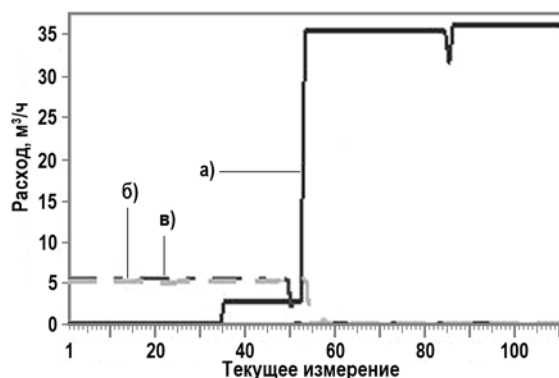


Рис. 5. Изменение во времени параметров насоса TJ13D01 для испытания от 26.01.2006г.: а) – расход насоса; б) – расход воды на подшипники; в) – расход рециркуляции

На следующем этапе от Калининской АЭС поступили данные по испытаниям насосов САВБ низкого давления за 2007 г. Таким образом, статистика достигла 54 испытаний. После обработки уже всех имеющихся данных и представления результатов в пространстве главных компонент испытания насоса TJ13D01 16.02.2006 и 22.06.2006 гг., как и на предыдущем этапе обработки, выделяются в общей совокупности результатов. К вышеотмеченным отклонениям насоса TJ13D01 добавились результаты испытания 16.03.2006 г. (рис. 6).

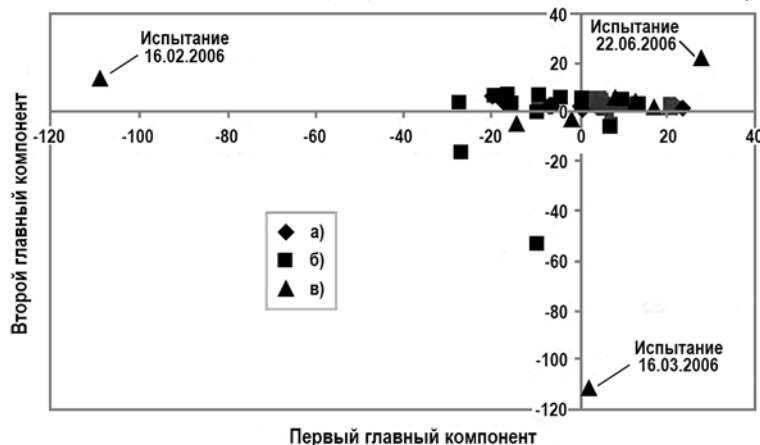


Рис. 6. Данные испытаний насосов низкого давления за 2005 – 2007 гг. в главных компонентах: а) – насос TJ11D01; б) – насос TJ12D01; в) – насос TJ13D01

На рисунке 7 представлены изменения расходных характеристик насоса TJ13D01 в испытании 16.03.2006 г.

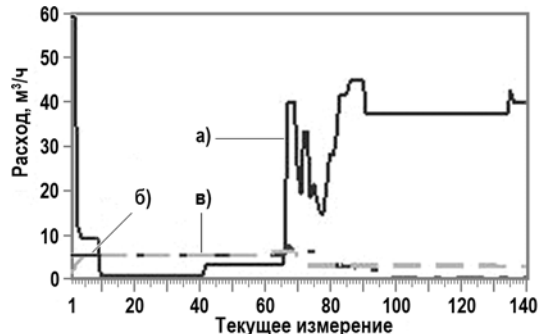


Рис. 7. Изменение во времени параметров насоса TJ13D01 для испытания от 16.03.2006 г.: а) – расход насоса; б) – расход рециркуляции; в) – расход воды на подшипники

Анализ вкладов (весов) информативных признаков в представление испытаний

насоса TJ13D01 в главных компонентах показал, что отклонения в испытаниях проведенных 16.02.2006, 22.06.2006, 16.03.2006 гг., также связаны с особенностями динамики расходов.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны методика и алгоритмы анализа состояния насосов систем безопасности по динамике измеряемых параметров насосов при их испытаниях.

2. Анализ данных испытаний насосов Калининской АЭС показал эффективность разработанных алгоритмов для определения отклонений в их состоянии, которые не были обнаружены по значениям параметров (расходам, температурам и т.д.) в стационарном состоянии насосов.

Литература

1. *Iserman R.* Process fault detection based on modeling and estimation methods – a survey // *Automatica*. – 1984. – Vol. 20. – No. 4. – PP. 387-404.
2. *Basseville M.* Detecting changes in signal and systems – a survey // *Automatica*. – 1988. – Vol. 24. – No. 3. – PP. 309-326.
3. *Frank P.M.* Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy – a survey and some new results // *Automatica*. – 1990. – Vol. 26. – No. 3. – PP. 459-474.
4. *Reisen C., Marshall E.* Evaluating operator support system in realistic conditions at HAMMLAB // *Nuclear Engineering International*. – 1988. – Vol. 33. – No. 402. – PP. 39-41.
5. *Transactions // ANS*. – 1982. – Vol. 41. – PP. 524-528.
6. *Абагян А.А., Дмитриев В.М., Клебанов Л.А., Крошилин А.Е., Ларин Е.П., Морозов С.К.* Система контроля и диагностики режимов работы энергоблока АЭС. // *Атомная энергия*. – 1987. – Т. 63. – Вып. 5. – С. 311-315.
7. *Вапник В.Н., Червоникис А.Я.* Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974.
8. *Tao Gu, Tou J.T.* A new criterion for optimal classification. // *Pattern Recognition*. – 1982. – No. 2. – PP. 1063-1065.
9. *Лескин С.Т.* Разработка алгоритмов распознавания аномалий в состоянии оборудования АЭС по анализу данных оперативного технологического контроля. // *Известия вузов. Ядерная энергетика*. – 1997. – № 4. – С. 4-12.
10. *Herbert M.R.* A review of on-line diagnostic aids for nuclear power plant operators. // *Nucl. Energy*. – 1984. – Vol. 23. – No. 4. – PP. 259-264.
11. *Павелко В.И.* Обзор приложений методологии экспертных систем в атомной энергетике. // *Атомная энергия*. – 1990. – Вып. 11. – С. 1-8.
12. *Weiss S., Reagan W., Roe J.* Experience with operator aids for nuclear power plants in the USA. – In: *Proc. Intern. Conf. on Man-Machine Interface in Nuclear Industry*. Tokyo, 15-19.02.1988, Vienna, 1988. PP. 323-329.
13. *Urig Robert E.* Potential application of nuclear networks to nuclear power plants. *Proc. Amer. Power Conf.* Vol. 53. Pt. 2 53rd. Annu. Meet., Chicago, III., Apr. 29-May 1. 1991. – PP. 946-951.
14. *Fault diagnosis in dynamic systems. Theory and applications / Edited by Patton R., Frank P., Clarc R.* Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NY, 1989.
15. *Willsky A.S.* A Survey of design methods for failure detection in dynamic systems // *Automatica*. – 1976. – Vol. 12. – PP. 601-611.
16. *Демидович Б.П., Марон И.А.* Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1966 г. – 664 с.
17. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
18. *Fukunaga K.* Introduction to statistical pattern recognition. – Academic press, New York and London, 1972.
19. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978.
20. *Лескин С.Т., Слободчук В.И., Шелегов А.С.* Анализ состояния ГЦН ВВЭР-1000 в процессе эксплуатации // *Известия вузов. Ядерная энергетика*. – 2016. – № 4. – С. 12-22.

Поступила в редакцию 02.09.2016 г.

Авторы

Лескин Сергей Терентьевич, профессор, доктор технических наук

E-mail: STLeskin@mephi.ru

Слободчук Виктор Иванович, доцент, кандидат технических наук

E-mail: slobovic@mail.ru

Шелегов Алексей Сергеевич, доцент, кандидат технических наук

E-mail: a_shelegov@mail.ru

Кашин Дмитрий Юрьевич, ассистент

E-mail: kashindu@gmail.com

UDC 621.039; 62-932.4

ANALISYS OF SAFETY SYSTEM PUMP CONDITION BASED ON THEIR TESTING RESULTS

Leskin S.T., Slobodchuk V.I., Shelegov A.S., Kashin D.Yu.

Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, NRNU «MEPhI»

1 Studgorodok, Obninsk, Kaluga reg., 249030 Russia

ABSTRACT

The method for analyzing the condition of emergency system pumps based on their periodical testing results is presented in the paper. The method and the algorithms are based on the presentation of the testing results in the space of the principal components. Such an approach enables one to show the pump condition in a convenient form. The parameter variation measured from the beginning of the test until the steady state condition is achieved, i.e. the dynamic section of the curve for each parameter, is used for the analysis.

Comparing the behavior curves of different technological parameters as a time function of a particular pump for different tests one can see that some sections of these curves do not change from test to test. This simply means that these sections are not informative relative to extraction of the information concerning the defect formation. These sections should be classified as some kind of «noise» and should be excluded as providing little information. On the contrary, the sections with abnormal behavior of technological parameters are more informative, and we take these sections for further analysis.

As a measure of the system uncertainty entropy $H(X)$ is used. This new parameter is defined by the relationship

$$H(X) = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i ,$$

where p_i – is the probability of the i -th state of the system; N – is the total number of the states of the system.

The entropy enables us to describe the probabilistic spread in the measured data. The entropy has the maximum value if all the states of the system are equiprobable. We can use this feature of the entropy to choose the more informative time intervals of the dynamic behavior of the technological parameters. The smaller the entropy, the more probable certain states of the system are. So, the most informative are those time sections, which have the maximum entropy value, i.e. the time sections for which the maximum spread in the measured data is observed. Using this approach a matrix is constructed based on the time intervals with maximum entropy, the so-called matrix of informative criteria.

To describe the condition of the pump using the different technological parameters are measured in the course of the tests we have to normalize the values of the parameters to the root-mean-square deviations of the parameters. The normalized data are then used for the transformation of the original data matrix on the basis of the most informative criteria

with a statistical method known as the Karhunen-Loeve transform, which is also known as a principal components method.

The approach is applied to processing the testing results of the emergency system pumps of the Kalinin NPP (Russia). Interesting results are obtained.

Key words: pump diagnostics, set of informative criteria, principal component method, pattern recognition theory.

REFERENCES

1. Iserman R. Process fault detection based on modeling and estimation methods – a survey. *Automatica*. 1984, v.20, no. 4, pp. 387-404.
2. Basseville M. Detecting changes in signal and systems – a survey. *Automatica*. 1988, v. 24, no. 3, pp. 309-326.
3. Frank P.M. Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy – a survey and some new results. *Automatica*. 1990, v. 26, no. 3, pp. 459-474.
4. Reisen C., Marshall E. Evaluating operator support system in realistic conditions at HAMMLAB. *Nuclear Engineering International*. 1988, v. 33, no. 402, pp. 39-41.
5. Transactions. *ANS*. 1982, v. 41, pp. 524-528.
6. Abagyan A.A., Dmitriev V.M., Klebanov L.A., Kroshilin A.E., Larin E.P., Morozov S.K. *Monitoring and diagnostics systems for nuclear power plant operating regimes*. *Atomnaya energiya*. 1987, v. 63, pp. 311-315 (in Russian).
7. Vapnik V., Chervoninkis A. *Pattern Recognition Theory*. Moscow. Nauka Publ., 1974 (in Russian).
8. Tao Gu, Tou J.T. A new criterion for optimal classification. *Pattern Recognition*, 1982, no. 2, pp. 1063-1065.
9. Leskin S.T. Algorithm development for abnormality detection of NPP equipment conditions based on technological testing results. *Izvestiya vusov. Yadernaya energetika*. 1997, no. 4, pp. 4-12 (in Russian).
10. Herbert M.R. A review of on-line diagnostic aids for nuclear power plant operators. *Nucl. Energy*. 1984, v. 23, no. 4, pp. 259-264.
11. Pavelko V.I. A review of application of expert system methodology in nuclear power engineering. *Atomnaya energiya*. 1990, v. 11, pp. 1-8 (in Russian).
12. Weiss S., Reagan W., Roe J. Experience with operator aids for nuclear power plants in the USA. In: Proc. Intern. Conf. on Man-Machine Interface in Nuclear Industry. Tokyo, 15-19.02.1988, Vienna, 1988, pp. 323-329.
13. Urig Robert E. Potential application of nuclear networks to nuclear power plants. Proc. Amer. Power Conf. Vol.53. Pt.2 53rd. Ann. Meet., Chicago, Ill., Apr. 29-May 1. 1991, pp. 946-951.
14. Fault diagnosis in dynamic systems. Theory and applications. Edited by Patton R., Frank P., Clarc R. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NY, 1989.
15. Willsky A.S. A Survey of design methods for failure detection in dynamic systems. *Automatica*. 1976, v. 12, pp. 601-611.
16. Demidovich B.P., Maron I.A. *The basic principles of computational mathematics*. Moscow. Nauka Publ., 1960, 664 p. (in Russian).
17. Ventzel E.S. *Theory of probability*. Moscow. Vysshaya Shkola Publ., 1999 (in Russian).
18. Fukunaga K. *Introduction to statistical pattern recognition*, Academic Press, New York and London, 1972.
19. Tu J, Gonsales R. *Pattern Recognition Principles*. Moscow. Mir Publ., 1978 (in Russian).
20. Leskin S.T., Slobodchuk V.I., Shelegov A.S. Analysis of VVER-1000 main circulation pump condition under operation. *Izvestiya vusov. Yadernaya energetika*. 2016, no. 4, pp. 12-22 (in Russian).

Authors

Leskin Sergei Terent'evich, Professor, Dr. Sci., (Engineering)

E-mail: STLeskin@mephi.ru

Slobodchuk Victor Ivanovich, Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: slobovic@mail.ru

Shelegov Alexey Sergeevich, Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: a_shelegov@mail.ru

Kashin Dmitry Yur'evich, Assistant Teacher,

E-mail: kashindu@gmail.com