

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АЭС*

П.А. Белоусов, А.О. Скоморохов

*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*



В данной статье представлен краткий обзор методов и алгоритмов, которые эффективно применяются при решении задач, связанных с разработкой систем управления потоками данных. Такие системы используют так называемые динамические базы данных и направлены на обработку потоков данных в режиме реального времени. Авторами предлагается использовать такую технологию при разработке систем диагностирования.

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение изменения свойств временных рядов и прогнозирование процессов относятся к классическим задачам технической диагностики. Традиционно используемыми методами являются различные типы контрольных карт, корреляционный и спектральный анализ, авторегрессия и экспоненциальное сглаживание. Вместе с тем, сложность реальных процессов, их нелинейность и нестационарность, статистическая зависимость сигнала и помех, негауссовское распределение шумов приводят к постоянному появлению новых методов и алгоритмов анализа.

Для обнаружения изменений и прогнозирования временных рядов в последние годы перспективными направлениями признаны нейронные сети различного типа, анализ независимых компонент и вейвлет-анализ. Эти методы допускают как раздельное, так и совместное применение. В последнем случае результаты анализа независимых компонент или вейвлет-анализа используются как обобщенные признаки при обучении нейронной сети.

Современные системы диагностирования АЭС призваны непрерывно выполнять в реальном времени наблюдение и анализ сотен сигналов (временных рядов). Наряду с вычислением индивидуальных статистических характеристик каждого сигнала, необходим анализ их взаимных корреляций, в том числе с учетом запаздываний. Отдельной важной проблемой является разработка специализированных

© П.А. Белоусов, А.О. Скоморохов, 2006

* Доклад представлен на IX Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров» (г. Обнинск, 24-28 октября 2005 г.)

баз данных временных рядов, позволяющих эффективно работать в реальном времени с большим объемом динамической информации. Традиционные подходы, с ростом числа сигналов и частоты поступления данных, быстро упираются в технические ограничения по памяти системы и не позволяют проводить обработку в режиме реального времени.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ДАННЫХ

Для преодоления указанных выше затруднений, в последние годы активно развивается технология мониторинга и обработки потоков данных (ТОПД) в так называемых системах управления потоками данных (Data Stream Management Systems – DSMS). ТОПД показала свои преимущества, например, в системах мониторинга параметров космических кораблей (20000 датчиков, опрашиваемых ежесекундно) и в системах торговли ценными бумагами (100000 сделок контролируются ежесекундно)[2].

Для того, чтобы работа систем была достаточно эффективной, какую бы они не использовали логическую модель, системы управления потоками данных [3] должны удовлетворять следующим свойствам:

- обновление данных должно осуществляться через добавление новых элементов (с относительно редким исправлением предыдущих данных);
- запросы (скользящие средние значения, стандартные отклонения и корреляция) должны обрабатывать данные как последовательности, а не как наборы данных;
- запросы должны обрабатывать данные как бесконечный поток, поскольку полный поток данных никогда нельзя получить полностью;
- желательными являются однопроходные алгоритмы;
- интерпретация должна быть главным образом качественной, т.к. в данном случае для увеличения быстродействия приемлемая некоторая потеря в точности.

Чтобы система обладала вышеперечисленными свойствами, была эффективной и производительной, в ней должны быть использованы методы сокращения данных, методы индексирования и методы преобразования временных рядов.

Поскольку временные ряды являются наблюдениями, сделанными последовательно, то отношение между последовательными элементами ряда дает возможность сокращать размер данных без существенной потери информации. Сокращение данных часто является первым шагом, чтобы охватить весь массив данных временных рядов и получить их краткий обзор. «Быстрый и грубый» анализ по кратко изложенным данным может помочь определить период времени с необычным поведением данных. Более точное исследование таких данных может помочь выбрать направление основного анализа.

На данный момент существует большое количество методов сокращения временных рядов. Классическим методом сокращения данных является дискретное преобразование Фурье [4, 5, 6]. Все большую популярность приобретают такие методы, как вейвлет-преобразования [7, 8] и сингулярное разложение, основанное на традиционном анализе главных компонент [9]. Также в этой области представляется очень перспективным метод случайного проектирования (Random projection)[10].

Чтобы выбор метода сокращения данных для имеющегося в наличии временного ряда был наиболее эффективным, пользуются деревом решений, которое представлено на рис. 1. Древо принятия решения имеющихся в наличии временных рядов.

Используя только коэффициенты преобразования, которые содержат максимум информации, необходимо избегать бессмысленного грубого сканирования дан-

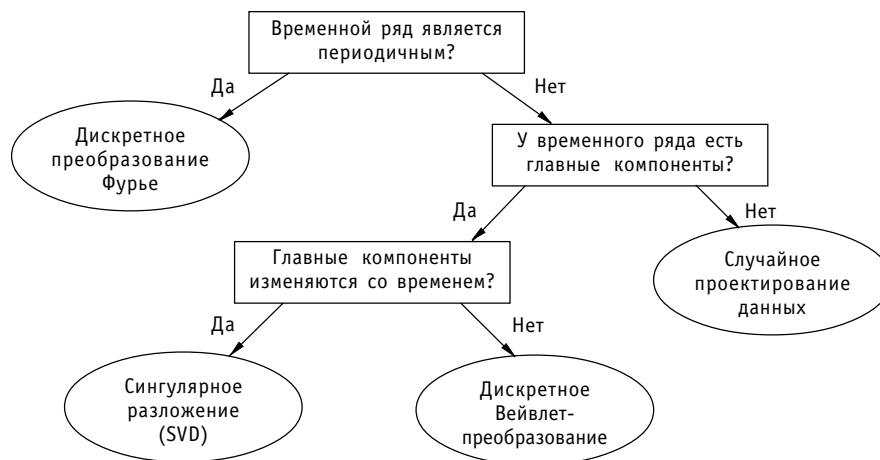


Рис.1. Дерево решений для выбора наилучшего метода сокращения данных

ных. Методы индексирования дают возможность организовать данные так, чтобы можно было быстро найти данные с интересующими нас свойствами и организовать данные, в некотором отношении так, чтобы оценка (*Ввода/Вывода*) могла быть существенно уменьшена. Самым простым и часто используемым методом является метод индексирования *B-tree* [16]. Этот метод использует одномерную индексную структуру. Чтобы проиндексировать временные ряды, которые мы представляем точкой в многомерном пространстве, мы должны использовать методы, которые могут работать в таких пространствах. К ним относятся методы *KD-B-tree* [11,12], *R-tree*[13,14,15] и *Grid File* [16].

Для выбора наилучшего метода индексирования данных пользуются деревом принятия решений, которое представлено на рис. 2.

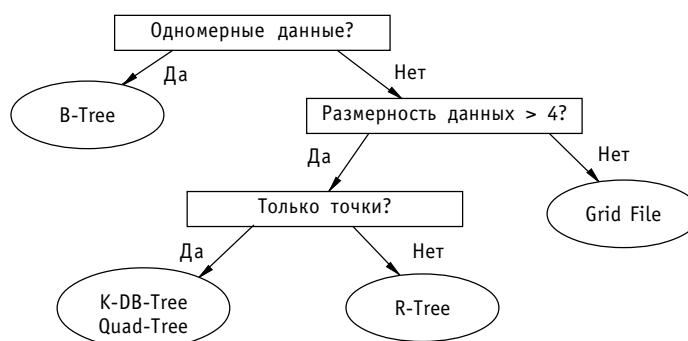


Рис.2. Дерево решений для выбора наилучшего метода индексирования

Чтобы проверить соответствие временного ряда некоторой модели, необходимо уметь сравнивать временные ряды как во времени, так и в различных независимых единицах измерения. При визуальном сравнении двух временных рядов не обращают внимания, в каких единицах и в течение какого времени измерялись эти ряды. В этом случае для сравнения используют их форму. Чтобы сравнить ряды с одинаковой формой, необходимо использовать такие операции преобразования данных, как сдвиг и масштабирование амплитуды временного ряда, сдвиги и масштабирование по времени [16], а также динамическое временное сжатие времен-

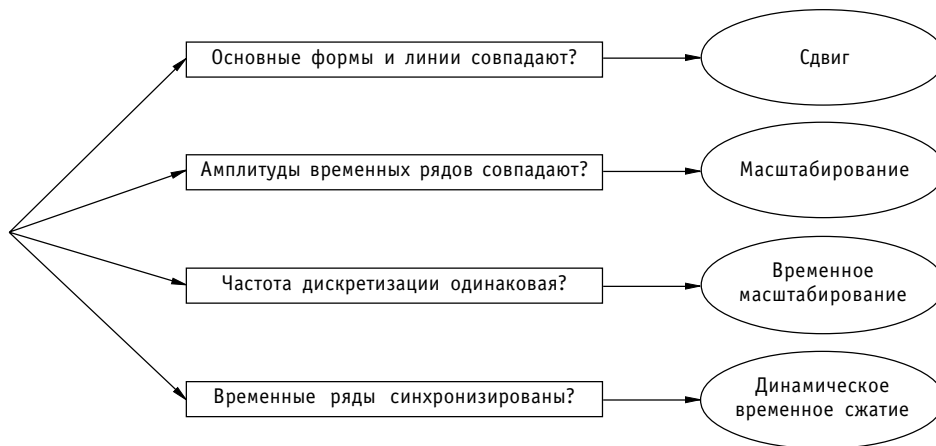


Рис. 3. Дерево решений для выбора преобразования временных рядов

ных рядов [17, 18, 19], которое необходимо применять в тех случаях, когда частота дискретизации может изменяться с течением времени.

Выбрать наилучший метод преобразования рядов поможет дерево решений на рис. 3.

Совместное применение методов сокращения данных, методов индексирования и преобразования дает возможность разрабатывать высокоэффективные системы обработки потоков данных, которые уже зарекомендовали себя в различных областях человеческой деятельности. В данной статье впервые предлагается применить данную технологию для обработки потоков данных с различных систем технической диагностики.

ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Контроль оборудования АЭС в режиме реального времени является актуальной и важной задачей при разработке систем диагностирования. Существующие на данный момент системы не имеют современного качественного и эффективного программного обеспечения для автоматизированного анализа данных. В основном решается только задача сокращения большого объема информации, поступающей с нескольких десятков или сотен датчиков, с последующей записью данных на какой-нибудь носитель информации.

Часто анализ данных производится в автономном режиме “вручную” с помощью различных графиков. Сложность реальных процессов не позволяет использовать в режиме реального времени громоздкие в вычислительном плане классические подходы. Неправильный выбор методов и алгоритмов обработки информации приводит к тому, что дорогостоящая система становится бесполезной при ее эксплуатации, т.к. оператору просто невозможно обработать огромное количество информации и сделать правильное заключение.

Применение ТОПД для стационарных и переносных систем, обрабатывающих данные как в режиме реального времени, так и в автономном режиме, дает возможность увеличить скорость обработки данных в несколько раз. В основном задачи, которые необходимо решать при разработке алгоритмов обработки данных для систем технической диагностики, возникают схожие. Одной из таких задач может быть задача обнаружения потоков, у которых в течение некоторого периода времени изменяются свойства (анализ каждого потока отдельно), и потоков, которые имеют одинаковые свойства (анализ взаимосвязей). Например, на рис. 4 схематично показаны потоки данных $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$. Квадратиками обозна-

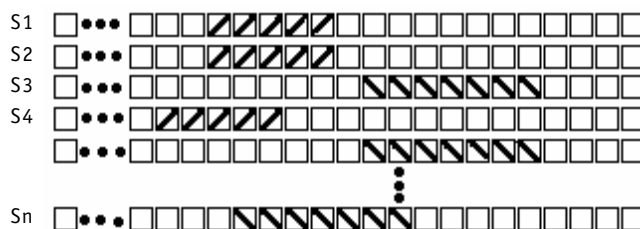


Рис. 4. Схематическое изображение потоков данных

чены элементы потока. Последовательность закрашенных перечеркнутых элементов указывает на изменение свойств потока в течение некоторого времени. Из рис. 4 видно, что потоки могут коррелировать как в одно и то же время в течение определенного периода (S1, S2), так и с запаздыванием (S1 и S4). Периоды, в течение которых потоки коррелируют, также могут быть разными, например, как периоды для потоков (S1, S2) и (S3, Sn).

Чтобы разработать алгоритмы быстрого поиска коррелирующих областей потоков, необходимо воспользоваться следующими свойствами:

Свойство 1. Ортогональные преобразования, используемые для сокращения размерности данных, сохраняют евклидово расстояние между двумя последовательностями x и y :

$$d(x, y) = d(X, Y),$$

где x, y – исходные данные, X, Y – преобразованные данные.

Свойство 2. Коэффициент корреляции двух временных рядов $x = x_1, x_2, \dots, x_w$ и $y = y_1, y_2, \dots, y_w$ есть

$$\text{corr}(x, y) = 1 - \frac{1}{2} d^2(\hat{x}, \hat{y}) = 1 - \frac{1}{2} d^2(\hat{X}, \hat{Y}),$$

где $d(\hat{x}, \hat{y})$ – евклидово расстояние между нормализованными рядами \hat{x} и \hat{y} .

$$\hat{x}_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x}, \quad i = 1, 2, \dots, w, \quad \sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^w (x_i - \bar{x})^2}.$$

Свойство 3. Первые коэффициенты, например, преобразования Фурье, содержат большую часть информации о временном ряде и с помощью этих коэффициентов можно восстановить основную форму ряда, как показано на рис. 5.

Свойство 4. Точность нахождения коэффициента корреляции (используя свойство 2) будет нелинейной зависимостью от числа используемых коэффициентов преобразования. Например, для ДПФ эта зависимость показана на рис. 6.

Исследование примеров применения ТОПД показало (рис. 7), что при одном и том же времени T , необходимом для обработки N потоков данных, прямой и точный подход в несколько раз уступает технологии обработки потоков данных (DSMS). При увеличении времени T , число потоков N , обрабатываемых с помощью систем DSMS, нелинейно увеличивается по сравнению с точным методом.

Посредством применения ТОПД можно решить большинство задач технической диагностики, для которых критичным является время обработки информации. Одной из самых важных задач диагностики ЯЭУ является проблема обнаружения разгерметизации трубопроводов первого контура, т.к. выход активной воды (теплоносителя) может привести к очень серьезным последствиям. Важной причиной разгерметизации трубопроводов является появление в них дефектов различного

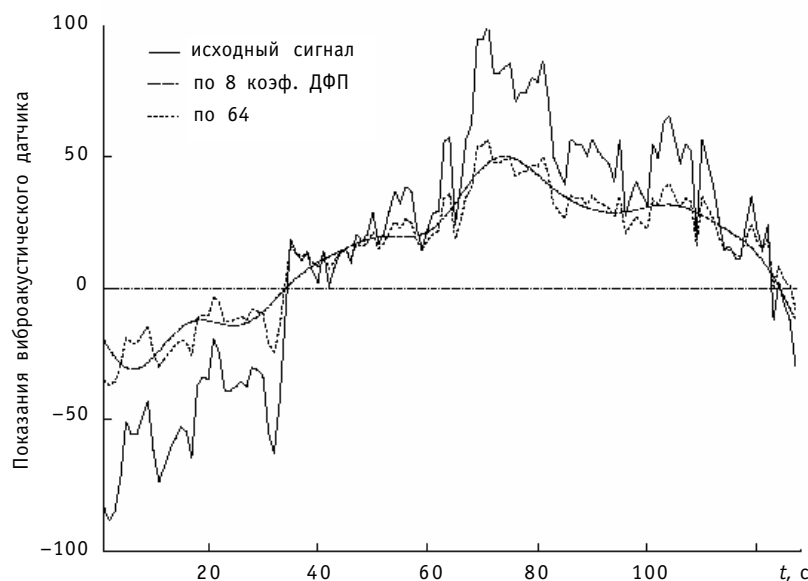


Рис. 5. Восстановление временного ряда, состоящего из 128 точек, с помощью 8 и 64 коэффициентов ДФП

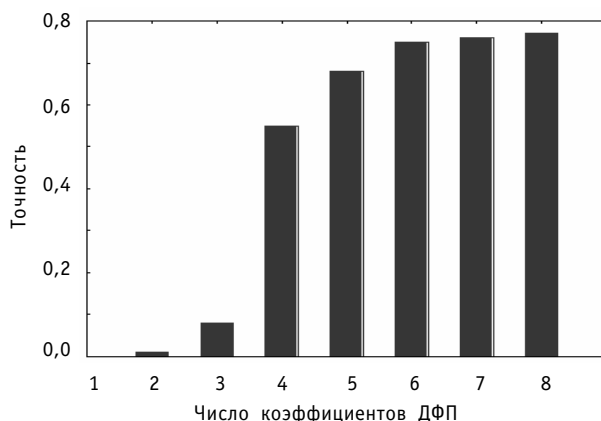


Рис. 6. Зависимость точности вычисления корреляции от числа коэффициентов ДФП

типа, которые в процессе эксплуатации могут стать сквозными трещинами. Рассмотрим системы, которые применяются на АЭС для предотвращения таких аварий, и применимость ТОПД для повышения эффективности их работы.

Одним из факторов, влияющих на появление трещин, является нахождение различных посторонних предметов в теплоносителе первого контура. Удары тяжелых предметов о стенки трубопроводов приводят к возникновению дефектов. Выявлением такого рода аномалий занимаются системы контроля свободных и слабозакрепленных частей, которые разрабатываются и уже используются на АЭС. Для таких систем необходимы алгоритмы, которые в режиме реального времени отслеживали бы высококоррелированные участки временных рядов с учетом запаздывания для выявления моментов ударов предметов о стенки трубопроводов. Вычислив время задержки корреляций, можно определить место расположения слабозакрепленного объекта. Определив частоту излучения звукового сигнала и используя для сокращения размерности данных ДФП [2], мы можем определить массу предмета [22]. На данный момент до сих пор не разработан эффективный алго-

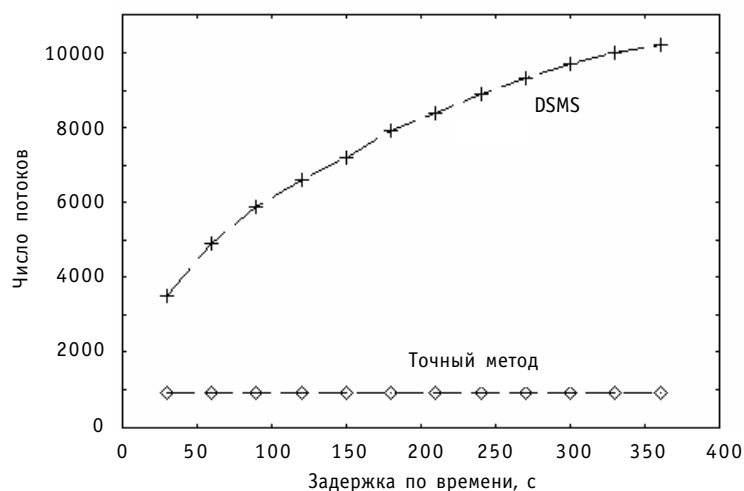


Рис. 7. Зависимость числа потоков, обрабатываемых алгоритмами, от времени, затрачиваемого на вычисления

ритм обработки потоков данных. По этому направлению ведутся разработки как в России (центр диагностики ДИАПРОМ [1]), так и за рубежом, например, фирмой SIEMENS. Для исследования применимости ТОПД были взяты данные с системы KUS, разработанной последней фирмой и установленной на Нововоронежской АЭС [25].

Для предотвращения развития дефектов и их выявления применяются неразрушающие методы контроля для мониторинга состояния трубопроводов АЭС. Эти методы направлены на выявления различного типа дефектов, как при монтаже, так и во время эксплуатации трубопроводов. Одним из основных и перспективных методов является ультразвуковой метод. На основе этого метода разрабатываются автоматические системы ультразвукового контроля. Разработка таких систем необходима для улучшения выявляемости дефектов и уменьшения времени контроля сварных соединений трубопроводов АЭС. Так, например, на одном только блоке АЭС с реактором РБМК-1000 может быть несколько тысяч сварных соединений, которые должны ежегодно контролироваться. Сделать это ручными системами просто невозможно и невыгодно. В настоящее время для контроля трубопроводов Ду-300 на АЭС с реакторами типа РБМК используются две системы ультразвукового контроля: АВГУР, разработанная компанией Эхо+ [23], и система полуавтоматического ультразвукового контроля (ПУЗК), разработанная специалистами ИЦД НИКИЭТ.

Чтобы повысить эффективность системы ПУЗК и ускорить работу оператора, было принято решение разработать автоматизированную систему анализа данных результатов УЗК. При разработке этой системы был применен алгоритм обработки данных с применением ТОПД [20, 21]. В данной работе эта технология применялась для того, чтобы найти высокоррелированные наборы данных как с задержками по времени, так и без них, а также для нахождения взаимно корреляционных функций. Одним из критериев выявления дефектов стал тот факт, что при контроле участков с дефектами с использованием различных схем прозвучивания, эти схемы между собой высоко коррелируют. В тех случаях, когда дефектов нет, высокая корреляция между схемами отсутствует. Такой подход в несколько раз увеличил скорость обработки данных, дал возможность фильтровать ложные тревоги при работе алгоритма, изложенного в [20], и объяснить различные аномалии в результатах контроля.

Во время эксплуатации трубопроводов возможны появления сквозных трещин, что может привести к возникновению аварийной ситуации. Чтобы контролировать такие аварии, используя концепцию малой течи перед разрушением, разрабатываются системы на основе выявления течи теплоносителя по акустическим сигналам, влажности и активности. Контроль и сигнализация о появлении течи должны производиться в режиме реального времени. Также быстро должно оцениваться состояние трубопровода и размер течи. Такие системы разрабатываются во всем мире. В России для реакторов ВВЭР основным разработчиком систем является ГНЦ РФ-ФЭИ, а для реакторов типа РБМК – НИКИЭТ.

Во всех трех системах основным критерием выявления течи является превышение сигнала от датчика выше определенного уровня. Алгоритмы обработки данных работают аналогичным образом и при этом являются очень уязвимыми. Применение подхода ТОПД может ускорить выявление аномалии по форме временного ряда и по корреляции между сигналами, что сократит время обнаружения течи и число ложных срабатываний при выходе какого-либо датчика из строя.

В настоящее время при работе акустической системы контроля течи (СКТА) основной проблемой является появление акустических шумов, которые возникают из-за различных процессов, протекающих в теплоносителе, и работы различного оборудования АЭС. Это сильно усложняет процесс выявления течи из-за того, что уровень сигнала в отсутствие течи может быть выше уровня выявления. Совместно с сотрудниками лаборатории технической диагностики ФЭИ ведется разработка алгоритмов обработки данных с использованием технологии обработки потоков данных. Использование подхода ТОПД для анализа данных, накопленных за 10 мес. работы СКТА, уже помогло выяснить ряд вопросов и выбрать направления для дальнейшей разработки алгоритмов обработки данных. По данной проблеме уже подготовлены отдельные публикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология обработки потоков данных подтвердила свою вычислительную эффективность при анализе больших объемов информации как в режиме реального времени, так и в автономном режиме. Разработанные алгоритмы позволяют решать трудоемкие задачи даже на карманных компьютерах [25], где требования к программному обеспечению гораздо выше, чем у персональных компьютеров. Системы с помощью технологии обработки потоков данных позволяют ускорить и автоматизировать процесс анализа результатов контроля, что повысит его качество и снизит уровень требований к подготовке операторов.

Литература

1. <http://www.diaprom.ru>
2. *Zhu Yunyue and Shasha Dennis* StatStream: Statistical Monitoring of Thousands of Data Streams in Real Time. Courant Institute of Mathematical Sciences Department of Computer Science. – New York: New York University, 2001.
3. *Babu S. and Widom J.* Continuous queries over data streams. SIGMOD Record, 30(3):109–120, 2001.
4. *Schroeder M.* Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes From an Infinite Paradise. W.H. Freeman and Company. – New York, 1991.
5. *Agrawal R., Faloutsos C. and Swami A.N.* Efficient Similarity Search In Sequence Databases. In D. Lomet, editor, Proceedings of the 4th International Conference of Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO), pages 69–84, Chicago, Illinois, 1993. Springer Verlag.
6. *Faloutsos C., Ranganathan M. and Manolopoulos Y.* Fast subsequence matching in time-series databases. In Proc. ACM SIGMOD International Conf. on Management of Data. – 1994. – P. 419–429.

7. Keogh E., Chakrabarti K., Pazzani M. and Mehrotra S. Dimensionality reduction for fast similarity search in large time series. In Databases. Knowledge and Information Systems 3(3). – 2000. – P. 263-286.
8. Yi B.-K. and Faloutsos C. Fast time sequence indexing for arbitrary lp norms. In VLDB 2000, Proceedings of 26th International Conference on Very Large Data Bases, September 10-14, 2000, Cairo, Egypt, pages 385-394. Morgan Kaufmann, 2000.
9. Press W., Flannery B., Teukolsky S. and Vetterling W. Numerical recipes: The art of scientific computing. Cambridge University Press, 1986.
10. Johnson W.B. and Lindenstrauss J. Extensions of lipshitz mapping into hilbert space. Contemp. Math., 26:189-206, 1984.
11. Keogh E. Exact indexing of dynamic time warping. In VLDB 2002, Proceedings of 28th International Conference on Very Large Data Bases (August 20-23, 2002, Hong Kong, China). – 2002. – P. 406-417.
12. Walnut D. F. An Introduction to Wavelet Analysis. Birkhauser, 2002.
13. Guttman. R-trees: A dynamic index structure for spatial searching. In B. Yormark, editor, SIGMOD'84, Proceedings of Annual Meeting, Boston, Massachusetts, June 18-21, 1984, pages 47-57. ACM Press, 1984.
14. Beckmann N., Kriegel H.-P., Schneider R. and Seeger B. The r*-tree: An efficient and robust access method for points and rectangles. In Proceedings of the 1990 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Atlantic City, NJ, May 23-25, 1990. – P. 322-331.
15. Sellis T.K., Rousopoulos N. and Faloutsos C. The r+-tree: A dynamic index for multidimensional objects. In P. M. Stocker, W. Kent, and P. Hammersley, editors, VLDB'87, Proceedings of 13th International Conference on Very Large Data Bases (September 1-4, 1987, Brighton, England). – Morgan Kaufmann, 1987. – P. 507-518.
16. Zhu Y. and Shasha D. High Performance Discovery in Time Series: Techniques and Case Studies. – Springer-Verlag, 2004.
17. Berndt D. and Clifford J. Using dynamic time warping to find patterns in time series. In Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. – AAAI/MIT, 1994. – P. 229-248.
18. Park S., Chu W.W., Yoon J. and Hsu C. Fast retrieval of similar subsequences under time warping. In ICDE. – 2000. – P. 23-32.
19. Yi B.-K., Jagadish H.V. and Faloutsos C. Efficient retrieval of similar time sequences under time warping. In ICDE. – 1998. – P. 201-208.
20. Скоморохов А.О., Белоусов П.А., Нахабов А.В. и др. Автоматическое выявление дефектов по результатам УЗК сварных соединений трубопроводов АЭС//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – № 3. – С. 3-5.
21. Skomorokhov A., Belousov P., Nakhabov A. CLUSTER ANALYSIS OF ULTRASONIC TESTING DATA. 7th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-7-2004). St. Petersburg, October 18-23, 2004. Conference Proceedings (Vol. I-III), Volume III., St. Petersburg, SPbETU 2004. – С. 917-919.
22. Белоусов П.А., Скоморохов А.О. Применение технологии потоков данных для обработки сигналов системы контроля свободных и слабозакрепленных частей (КУС): Тез. докл. VIII Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров» (Обнинск, октябрь 2003). – Обнинск: ИАТЭ, 2003. – С. 123-124.
23. Бадалян В.Г., Вовилкин А.Х. Опыт применения ультразвуковой системы с когерентной обработкой данных «Авгур» на российских АЭС//Контроль. Диагностика. – 2000. – № 9. – С. 35-39.
24. Скоморохов А.О., Белоусов П.А. Разработка системы анализа и обработки данных УЗК сварного соединения ТК реактора РБМК-1000. Техногенные системы и экологический риск: Тез. докл. II Региональной научной конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Обнинск: ИАТЭ, 2005. – С. 6-8.
25. Белоусов П.А. Применение технологии обработки потоков данных для решения некоторых задач технической диагностики/ХНижегородская сессия молодых ученых. Секция «Математика и математическое моделирование» (г. Саров 16-20 мая 2005 г.).

Поступила в редакцию 22.05.2006

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

Development and Application of Methods for Property Change Discovery and Time Series Forecasting in NPP Diagnostics Problems \ A.O. Skomorokhov, P.A. Belousov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 9 pages, 7 illustrations. – References – 25 titles.

Property change discovery and time series forecasting are basic problems of technical diagnostics. The paper consists of a brief review of methods for data stream processing. These methods are used for developing of Data Stream Management Systems in the world. Authors suggested to use DSMS for solving different problems of technical diagnostics.

УДК 621.039.58

Fuzzy Probability Models for Estimating Reliability Indicators for NPP Equipment \ Y.V. Volkov, D.S. Samokhin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 12 pages, 6 illustrations, 7 tables. – References – 11 titles.

Developed model allows to take into account “fuzzy” information on failures of pieces of equipment during the estimating of reliability indicators and carrying out the probabilistic analysis of safety of nuclear technology objects. Estimation rests upon initial information, significant part of which is due to be analysed by experts. Processing of the results of expert survey gives the best characteristics of the reliability and contains estimation of co-ordination of experts’ opinions and exposure of the reasons of heterogeneity.

УДК 621.039.58: 519.8

The Method of the Displaced Ideal Utilization for Solution of the Some Applied Problems Concerned with Designing and Safety Substantiation of the NPP \ V.S. Okunev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 10 pages, 3 illustrations, 1 table. – References – 9 titles.

Some applied problems concerned with optimal designing and safety substantiation of the NPP, stated as multicriteria optimization problems, are considered. One of them is the problem of selection of the preferable composition of core. The other one is the problem of ranking of the parameters of BREST-2400 in order of influence on the safety functionals.

УДК 621.039.516

On the Problem of Neutron Multiplying in the Deep Sub-Criticality Media \ V.A. Grabeznoj, V.A. Doulin, V.V. Doulin, G.M. Mihailov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 9 pages, 1 illustration, 3 tables. – References – 9 titles.

Method of determination of neutron multiplication in deep sub-critical multiplying medium was developed. It is based on a modification of Rossi-alpha method. The method consists in measurement of integral over time (area method) of correlated part of distribution and integral in area independent of time of as part of distribution (area of constant background), instead of the measurement of the constants of recession of neutron density α . It allows to carry out the calculated analysis, with the help of time integral equation for a neutron flux without representation of point kinetic model. During the calculation of space – correlation factor the solution of conjugate (relative to the count rate of detector) inhomogeneous equation is used. Its calculation is realized taking into account fission both in multiplying medium and in a source of spontaneous neutrons. To obtain multiplication of neutrons (and effective multiplication factor) in the medium the knowledge of effective lagging neutrons is not required. Measurements with plutonium – steel and uranium – steel blocks and blocks made of uranium dioxide of various enrichments have been carried out. Measured values of neutron multiplication in a range 0.15 – 0.45 are well adjusted with results of calculations.