

## Алгоритмизация процесса обработки диагностических сигналов электроприводной арматуры с учетом хаотических составляющих

Ю.П. Муха<sup>2</sup>, А.В. Чернов<sup>1</sup>, Е.А. Абидова<sup>1</sup>, Л.С.Хегай<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск,

<sup>2</sup>Волгоградский государственный технический университет

**Аннотация:** Решена задача выделения диагностических признаков методами статистической, спектральной и энтропийной обработки сигналов и логическим анализом их результатов. Результаты обработки данных позволили выбрать наиболее эффективные характеристики (диагностические признаки) сигналов, обеспечивающие разделимость сигналов в выбранном признаковом пространстве, т.е. классификацию. Задача алгоритмизации диагностики электроприводной арматуры (далее ЭПА) решена как задача распознавания образов пяти классов состояния ЭПА на основе сопоставления текущих булевских комбинаций с семью эталонами.

**Ключевые слова:** электроприводная арматура, спектральный анализ, энтропия Шеннона, перестановочная энтропия, опорный вектор, распознавание образов.

### Введение

В период планового ремонта блоков атомной электростанции (далее АЭС), который длится менее одного месяца, возникает задача определения технического состояния более 1000 единиц ЭПА. Конструкция ЭПА подразделяется более чем на 200 типов. В соответствии с требованиями АЭС диагностирование проводится по сигналу тока двигателя ЭПА. Таким образом, располагая текущим параметрами сигналов тока, необходимо классифицировать состояние как исправное или неисправное, подлежащее ремонту. Желательно также локализовать неисправность в механической либо электрической части для передачи оборудования в ремонт Электрическому либо Механическому цеху. Кроме этого желательно определить степень неисправности: начальная стадия или развитый дефект.

### Постановка задачи

Формализуем задачу для построения автоматического классификатора и обоснованного отбора диагностических признаков. Классы данных:

---

- 1) Арматура исправна;
- 2) Арматура неисправна (начальная стадия дефекта), неисправность в электрической части;
- 3) Арматура неисправна (состояние ухудшилось), неисправность в механической части;
- 4) Арматура неисправна (начальная стадия дефекта), неисправность в электрической части;
- 5) Арматура неисправна (состояние без изменений), неисправность в механической части.

При автоматической классификации и при классификации образа оператором, важно, чтобы признаковое пространство было сформировано эффективно.

Эффективность диагностических признаков определяется в первую очередь методами обработки токового сигнала. При формировании признакового пространства методом главных компонент, в качестве первичных признаков используем статистические, спектральные и хаотические характеристики оцифрованных сигналов.

Выбор статистических и спектральных параметров обусловлен опытом диагностирования различных конструкций ЭПА и требованиями методики, зарегистрированной в госкорпорации "Росатом"[1]. Одним из важнейших параметров, определяемых по огибающей сигнала тока является плавность хода, рассчитываемая по формуле:

$$Y_{\%} = \left( 1 - \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{median}} \right) 100\%, \quad (1)$$

где  $I_{max}$ ,  $I_{min}$ ,  $I_{median}$ , наибольшее, наименьшее и медианное среднее значения в огибающей сигнала тока. Значение  $Y_{\%}$  менее 75% трактуется как неисправное состояние, убывание  $Y_{\%}$  как ухудшение.

Спектры сигналов тока ЭПА различных конструкций отличаются по виду. Однако показано [2], что развитие дефекта в сигнале сопровождается увеличением глубины модуляции, а в спектре ростом амплитуд гармоник ротора  $I_r$  и дефекта  $I_s$ .

Выбор энтропийных параметров обусловлен чувствительностью энтропии Шеннона  $H_{sh}$  и перестановочной энтропии  $H_{per}$  к хаотическим составляющим сигнала электромеханического оборудования, сопровождающих проявление дефектов [3,4]. Методика расчета энтропийных параметров представлена в [5].

### Разработка структуры алгоритма диагностики

Компоненты диагностического вектора (амплитуды в спектре, плавность хода, энтропия Шеннона и перестановочная энтропия) могут быть представлены следующим выражением:

$$D = \begin{bmatrix} I_r \\ I_s \\ Y_{\%} \\ H_{sh} \\ H_{per} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Диагностика по близости предъявленного образа к кластерам исправной и неисправной арматуры должно производиться автоматически.

С целью оценки возможности классификации в таблицу 1 сведены компоненты диагностического вектора исправной и неисправной арматуры одного и того же типа. ЭПА №1 исправна. В ЭПА №№2,3 неисправна механическая часть. При чем, неисправность в №2 выражена меньше, чем в ЭПА №3. В ЭПА №№4,5 неисправна электрическая часть. При чем, неисправность в №4 выражена меньше, чем в ЭПА №5.

По таблице 1 видно, что состояние может быть классифицировано по векторам.

Таблица № 1

## Значения компонентов диагностического вектора

	ЭПА №1	ЭПА №2	ЭПА №3	ЭПА №4	ЭПА №5
$Y_{\%}$	89%	71%	57%	73%	70%
$I_r$	0,01	0,2	0,15	0,1	0,6
$I_s$	0	0,15	0,14	0	0
$H_{sh}$	6,6	10,4	11,9	11,6	11,5
$H_{per}$	7,1	7,4	4,4	7,0	4,9

Отделить исправное состояние от неисправного можно исходя из снижения плавности хода, роста значения  $I_r$  и энтропии Шеннона. Отнести класс состояния к неисправности в механической части либо неисправности в электрической части можно опираясь на такой признак как рост амплитуды  $I_s$  (который соответствует только механическому дефекту). Снижение перестановочной энтропии наблюдается при резком ухудшении состоянии ЭПА.

Образы должны обеспечивать полную делимость классов ЭПА и, если это возможно, их компактность в признаковом пространстве (относительно малое расстояние между образами одного класса при большом расстоянии между классами).

Классификация состояний может быть описана при помощи булевских комбинаций[6]. При чем соответствие текущего параметра эталону исправного состояния описывается логическим 0, а отклонение параметра от эталона более, чем на 20%, описывается логической единице. Булевские комбинации, соответствующие классифицируемым состояниям представлены в таблице 2.

Таблица № 2

## Классификация состояний при помощи булевских комбинаций

Состояние ЭПА	Соответствие эталону исправного состояния				
	$Y_{\%}$	$I_T$	$I_S$	$H_{эл}$	$H_{пер}$
Арматура исправна	0	0	0	0	0
Арматура неисправна (начальная стадия дефекта), неисправность в электрической части	1	1	0	1	0
	1	1	0	0	0
Арматура неисправна (развитый дефект), неисправность в электрической части	1	1	0	1	1
Арматура неисправна (начальная стадия дефекта), неисправность в механической части	1	1	1	1	0
	1	1	1	0	0
Арматура неисправна (развитый дефект), неисправность в механической части	1	1	1	1	1

В связи со сложностью классификации начальной стадии для различных типов ЭПА этим состояниям соответствует два вектора. Некоторые булевские комбинации, например, 01111 исключены, из-за физической невозможности данного состояния (высокая плавность хода одновременно с отклонениями в спектре и хаотичностью сигнала).

Требуется построить текущий опорный вектор и сопоставить его с булевыми комбинациями. Вероятность ошибок первого или второго рода должны быть сведены к минимуму.

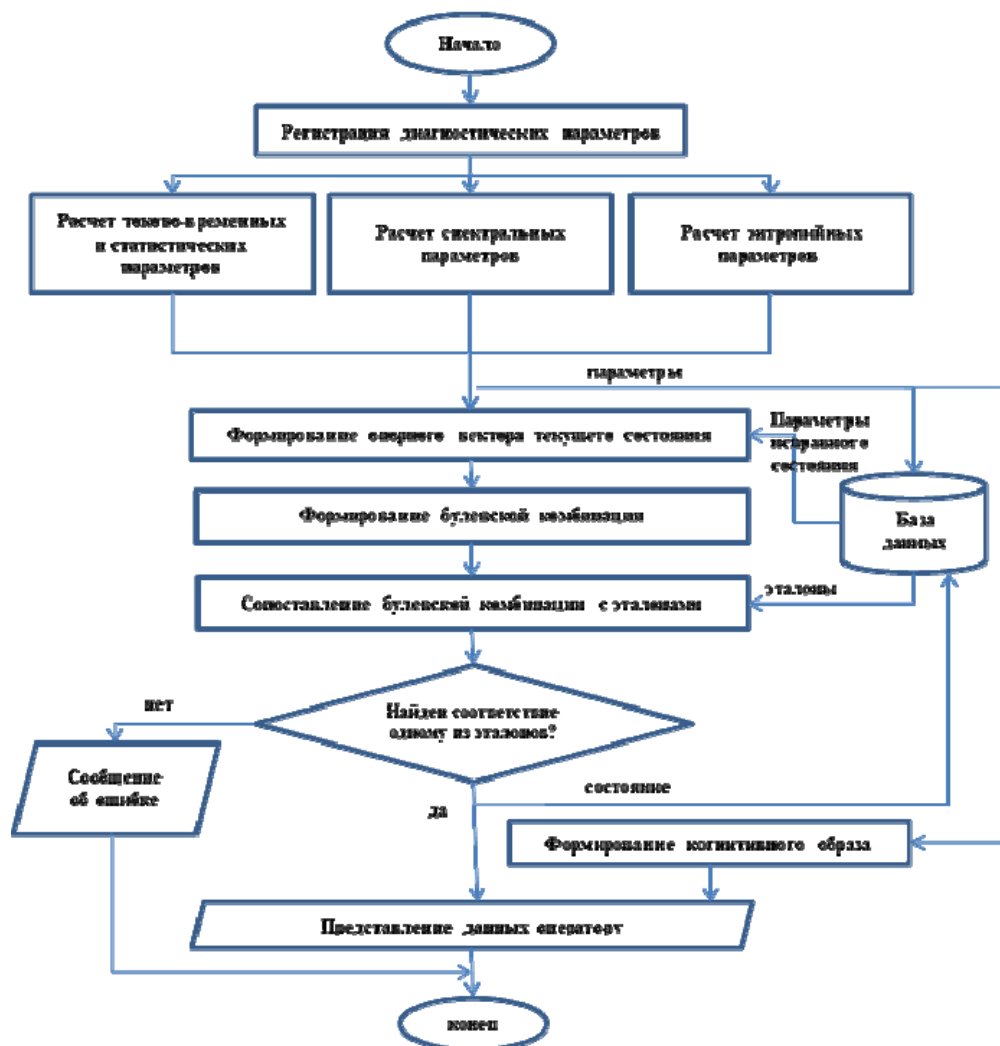


Рис. 1. Алгоритм диагностики электроприводной арматуры с использованием энтропийных методов

Таким образом, алгоритмизация процесса обработки сигналов тока ЭПА связана с расчетом параметров, являющихся диагностическими признаками. Эти параметры формируют опорный вектор текущего состояния. Происходит сохранение параметров в базе данных. На основе сопоставления параметров исправного состояния и текущего состояния формируются булевские комбинации, отражающие отклонение текущих параметров от параметров исправного состояния. Булевские комбинации сопоставляются с семью эталонами, хранящимися в базе данных. Если соответствие не найдено, формируется сообщение об ошибке. Определенное

текущее состояние предоставляется оператору и регистрируется в базе данных.

### **Заключение**

В настоящей работе задача диагностики ЭПА решается как задача распознавания образов пяти классов. Для синтеза искомой системы распознавания образов была решена задача выделения признаков. Эта задача решена методами обработки сигналов и логическим анализом их результатов. Результаты обработки данных позволили выбрать эффективные характеристики (диагностические признаки) сигналов: амплитуды в спектре, плавность хода, энтропия Шеннона и перестановочная энтропия. Данные признаки, отображающие линейные и хаотические составляющие диагностического сигнала ЭПА, обеспечивают надежную делимость сигналов в выбранном признаковом пространстве, т.е. классификацию. Логический анализ данных позволяет отнести ЭПА к исправному состоянию либо к одному из классов неисправного состояния (локализовать неисправность), а также установить степень неисправности.

### **Литература**

1. Слепов М. Т. и др. Технологии анализа диагностических параметров электроприводной арматуры на действующих энергоблоках Нововоронежской АЭС. Абидова Е. А., Никифоров В. Н., Пугачева О. Ю., Слепов М. Т.// Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. - №4. - С. 16–22.
2. Абидова Е.А. Идентификация информационных процессов в системе диагностики электроприводной арматуры атомных станций: автореф. дис. канд. техн. наук: -Волгоград, 2011. - 18 с.

3. Lei, Y., Z. He, and Y. Zi, A new approach to intelligent fault diagnosis of rotating machinery. *Expert Systems with Applications*, 2008. 35(4): pp. 1593-1600.
  4. Zhang, L., et al., Bearing fault diagnosis using multi-scale entropy and adaptive neuro-fuzzy inference. *Expert Systems with Applications*, 2010. 37(8): pp. 6077-6085.
  5. Чумак О. В. Энтропия и фракталы в анализе данных - М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. - 164 с
  6. Шепель В.Т., Дроков В.Г., Гайдай М.С. Повышение эффективности эксплуатационного контроля трансмиссионных подшипников авиационных газотурбинных двигателей. Сборник научных трудов РГАТА, Рыбинск, 2002. С. 29-33.
  7. D. Ruelle, Deterministic chaos: the science and the fiction, *Proceedings of the Royal Society of London A* 427 (1990): pp. 241–248.
  8. L.S. Qu, J.D. Jiang, The complexity analysis of vibration signals of large rotating machinery, *Journal of Xi'an Jiaotong University* 32 (6) (1998): pp. 31–35 (in Chinese).
  9. Чернов А.В., Пугачёва О.Ю., Абидова Е.А. Обработка диагностической информации при оценке технического состояния электроприводной арматуры АЭС // *Инженерный вестник Дона*, 2011, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/499](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/499).
  10. Гаглоева И.Э., Добаев А.З., Дедегкаева А.А. Разработка математической модели комплексной оценки состояния электроэнергетических объектов // *Инженерный вестник Дона*, 2013, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1842](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1842).
-



## References

1. Abidova E. A., Nikiforov V. N., Pugacheva O. Ju., Slepov M. T. Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija (Rus), 2014. №4. pp. 16-22.
  2. Abidova E.A. Identifikacija informacionnyh processov v sisteme diagnostiki jelektroprivodnoj armatury atomnyh stancij [Identification of informational processes in system of diagnostics of electrodrive fittings of nuclear power plants]: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: Volgograd, 2011. 18 p.
  3. Lei, Y., Z. He, and Y. Zi, A new approach to intelligent fault diagnosis of rotating machinery. Expert Systems with Applications, 2008. 35(4). pp. 1593-1600.
  4. Zhang, L., et al., Bearing fault diagnosis using multi-scale entropy and adaptive neuro-fuzzy inference. Expert Systems with Applications, 2010. 37(8). pp. 6077-6085.
  5. Chumak O. V. Jentropija i fraktaly v analize dannyh [Entropy and fractals in the analysis of data] - M.–Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», Institut komp'juternyh issledovanij, 2011. 164 p.
  6. Shepel' V.T., Drovok V.G., Gajdaj M.S. Povyshenie jeffektivnosti jekspluatacionnogo kontrolja transmissionnyh podshipnikov aviacionnyh gazoturbinnnyh dvigatelej [Increase in effectiveness of operational monitoring of transmission bearings of aviation gas-turbine engines]. Sbornik nauchnyh trudov RGATA, Rybinsk, 2002. P. 29-33.
  7. D. Rulle, Deterministic chaos: the science and the fiction, Proceedings of the Royal Society of London A 427 (1990). pp. 241-248.
  8. L.S. Qu, J.D. Jiang, The complexity analysis of vibration signals of large rotating machinery, Journal of Xi'an Jiaotong University 32 (6) (1998): pp. 31–35 (in Chinese).
  9. Chernov A.V., Pugachjova O.Ju., Abidova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/499](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/499).
-



10. Gagloeva I.Je., Dobaev A.Z., Dedegkaeva A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1842](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1842).