

21. *Tomas Kh. Kormen, Charl'z I. Leyzerson, Ronal'd L. Rivest, Klifford Shtayn*. Algoritmy: postroenie i analiz = Introduction to Algorithms [Algorithms: construction and analysis = Introduction to Algorithms]. 2nd ed. Moscow: Vil'yams, 2006, pp. 1296. ISBN 0-07-013151-1.
22. Optimizatsiya [Optimization], Vikipediya [Wikipedia]. [2018–2018]. Data obnovleniya: 10.08.2018. Available at: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=94448419> (accessed 10 August 2018).
23. *Bennett C.H., Shor P.W., Smolin J.A., Thapliyal A.V.* Entanglement-assisted Capacity of a Quantum Channel and the Reverse Shannon Theorem, *IEEE Transactions on Information Theory*, 2002, Vol. 48, pp. 26-37.
24. *Kleppner D., Kolenkow R.* An Introduction to Mechanics (Second ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2014, 49 p.
25. *Potapov V.S., Gushanskiy S.M.* Kvantovye tipy oshibok i metody ikh ustraneniya, zavisimost' oshibki ot mery i chistoty zaputannosti [Quantum types of errors and methods of their elimination, the dependence of errors on the measure and purity of entanglement], *Sb. trudov XIV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov ITSAiU-2016* [Proceedings of the XIV all-Russian scientific conference of young scientists, postgraduates and students of Itsaiu-2016]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2016, Vol. 3, pp. 123-129.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. М.Ю. Поленов.

Гушанский Сергей Михайлович – Южный федеральный университет; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

Потанов Виктор Сергеевич – e-mail: vitya-potapov@rambler.ru; кафедра вычислительной техники; ассистент.

Божич Владимир Иванович – ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)», Таганрогский институт им. А.П. Чехова, e-mail: vladimir.bozhich@gmail.com; 347928, г. Таганрог, ул. Инициативная, 48; тел.: 88634367866; кафедра естествознания и безопасности жизнедеятельности; д.т.н.; профессор.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich – Southern Federal University; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Potapov Victor Sergeevich – e-mail: vitya-potapov@rambler.ru; the department of computer engineering; assistant.

Bozhich Vladimir Ivanovich – FSBEI HE “RSEU (RINH)”, Taganrog Institute A.P. Chekhov, e-mail: vladimir.bozhich@gmail.com; 347928, Taganrog, st. Initiative, 48; phone: 88634367866; the department of natural sciences and life safety; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 681.3.05

DOI 10.18522/2311-3103-2020-3-46-55

С.И. Клевцов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ФОРМЫ СОВОКУПНОСТИ ЕГО ЗНАЧЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Одной из важных задач мониторинга технических объектов является предотвращение аварийных ситуаций. Эта задача связана с выполнением достоверной и адекватной оценки работоспособности объекта. Оценка работоспособности объекта основывается на анализе поведения его контролируемых параметров в реальном времени. Тогда она будет актуальной. В работе предложен метод определения характера изменения параметра, основанный на анализе последовательности специальных пространственных графических форм, называемых графиками Пуанкаре. Выбранный параметр должен в значительной степени определять работоспособность контролируемого объекта. Графики формируются на основе временного ряда контролируемого параметра. Выбирается временное

окно, которое вырезает заданное количество значений параметра. График строится для каждого шага перемещения окна по временному ряду параметра. Анализируется трансформация формы заданного типа, которая накладывается на совокупность значений параметра, представленных в виде графика. По изменению параметров формы делается вывод о характере изменений параметра. В работе показана возможность использования графиков Пуанкаре для отслеживания изменения состояния технического объекта в реальном времени. При этом учитываются особенности съема информации с датчиков. Оценка реализуется с помощью микропроцессорного модуля, входящего в систему мониторинга. Также предложена структура обобщенной однофакторной модели, которая отслеживает изменение состояния объекта на основе анализа графиков Пуанкаре. Приведен вариант оценки состояния объекта с помощью сравнения характеристик графика с критериями. Критерии получены после предварительной обработки большого массива данных о поведении контролируемого параметра. Каждому значению критерия поставлена в соответствие экспертная оценка, определяющая состояние объекта. Оценка позволяет определить степень работоспособности объекта и реализовать необходимые действия в случае опасности.

График Пуанкаре, оценка работоспособности, модель, микропроцессорный модуль, реальное время.

S.I. Klevtsov

DETERMINING THE NATURE OF PARAMETER CHANGES BASED ON THE ANALYSIS OF DYNAMICS RELATIVE TO THE SHAPE OF ITS VALUES SET IN REAL TIME

One of the important tasks of monitoring technical objects is the prevention of emergency situations. This task is associated with the implementation of a reliable and adequate assessment of the health of the object. The assessment of the object's health is based on an analysis of the behavior of its controlled parameters in real time. Only then it will be relevant. A method for determining the nature of a parameter change based on an analysis of a sequence of special spatial graphical forms called Poincaré graphs is proposed. The selected parameter should largely determine the operability of the controlled object. Charts are formed on the basis of the time series of the controlled parameter. A time window is selected that cuts the specified number of parameter values. A graph is plotted for each step of moving the window along the time series of the parameter. The transformation of the form of a given type is analyzed, which is superimposed on the totality of parameter values presented in the form of a graph. By changing the form parameters, a conclusion is drawn on the nature of the parameter changes. The paper shows the possibility of using Poincaré graphs to track changes in the state of a technical object in real time. This takes into account the peculiarities of information retrieval from sensors. The assessment is implemented using a microprocessor module included in the monitoring system. The structure of a generalized one-factor model is also proposed, which tracks the change in the state of an object based on an analysis of Poincaré graphs. The option of assessing the state of the object by comparing the characteristics of the graph with the criteria is given. The criteria are obtained after preliminary processing of a large array of data on the behavior of the controlled parameter. Each criterion value is associated with an expert assessment that determines the state of the object. The assessment allows you to determine the degree of operability of the facility and implement the necessary actions in case of danger.

Poincaré graph, performance assessment, model, microprocessor module, real time.

Введение. Повышение качества функционирования технического объекта связано с тем, насколько эффективно используются ресурсы управления при возникновении различных нештатных ситуаций [1–3]. Имеются условия, которые способствуют этому. Одним из важнейших условий является выполнение достоверной оценки состояния объекта. Оценка должна быть адекватна возникшей ситуации [2, 4, 5]. Оценка состояния технического объекта осуществляется на основе анализа состояния его параметров [5–8]. В ряде случаев можно выбрать один характерный параметр, определяющий состояние объекта в целом [9–11].

Оценка состояния объектов важна для предотвращения опасных ситуаций и решается различными способами [12–14]. Прогнозная оценка формируется на основе данных о текущем состоянии объекта [9, 10].

Оценка будет актуальной, если она выполняется в реальном времени [8, 10]. Реализация этой задачи возможна с использованием современной микропроцессорной техники. Микропроцессорные модули способны обрабатывать данные, считываемые с датчиков, проводить оценку и формировать команды для управления объектом в реальном времени. Модули, размещенные в системах контроля и управления, могут выполнять эти действия в фоновом режиме, не мешая выполнению основных функций системы [8, 10, 15].

Однако, при этом необходимо учитывать особенности съема информации с датчиков, связанные с цифровой обработкой сигналов [15]. Шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим. В этом случае изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов будет незначительным. Это позволит повысить точность оценки и снизить погрешности.

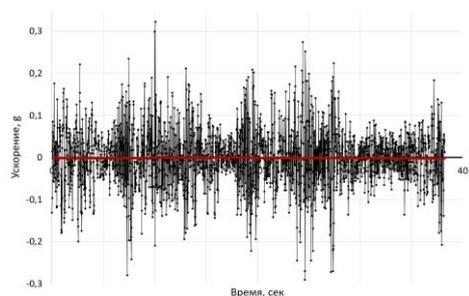
Параметр, используемый для оценки, может характеризоваться высоким уровнем шума. В этом случае необходима фильтрация исходных данных, которая требует дополнительного времени [4, 15]. Продолжительность процедуры зависит от сложности алгоритма.

С другой стороны, для оценки можно использовать временной ряд параметра без предварительной обработки, например, в виде совокупности значений, представленных особым способом. Для оценки предлагается использовать графики Пуанкаре [16–20]. График Пуанкаре представляет собой точечное графическое отображение N значений временной последовательности x_k при $k = 1, \dots, N$ на двумерном поле, в котором ординатой точки является значение x_{k+1} , а абсциссой – предшествующее значение x_k .

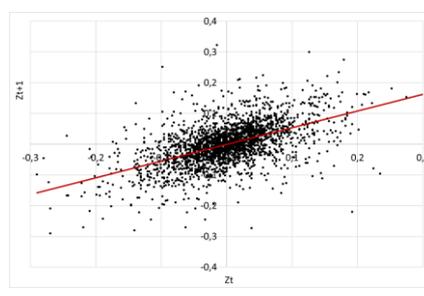
Постановка задачи. Как правило, графики Пуанкаре используются при анализе данных стационарных объектов для выявления отклонений состояний этих объектов от нормального состояния [17, 19–21]. Графики Пуанкаре любых динамических процессов, отличных от шума, характеризуются асимметрией относительно центра или осей системы координат [19, 20].

Задача заключается в определении возможности использования графиков Пуанкаре для идентификации различных состояний технического объекта и построением модели или алгоритма идентификации состояний.

Построим графики Пуанкаре для временных рядов параметров динамического объекта, который находится в различных фазах движения. В качестве параметра динамического объекта будем рассматривать ускорение автомобиля по осям X , Y , Z . На рис. 1 представлены результаты измерения ускорения по оси X , Y и Z в процессе выполнения автомобилем поворота налево и соответствующие графики Пуанкаре.



а



г

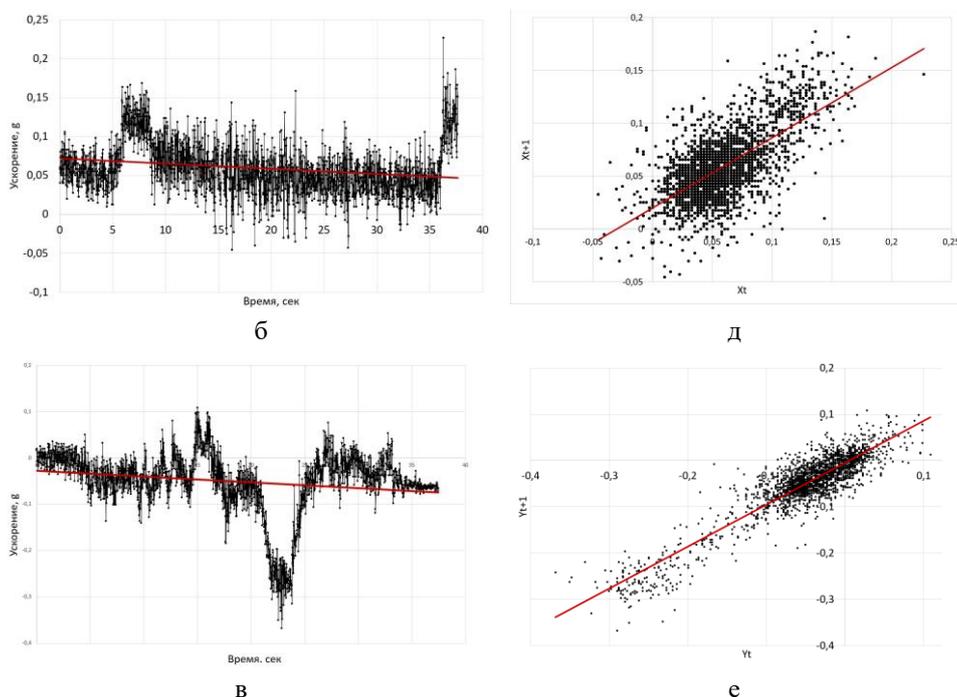


Рис. 1. Изменение ускорения автомобиля по оси Z (а), X (б) и Y (в) и графики Пуанкаре, соответствующие графикам изменения ускорения автомобиля по оси Z (з) и X (д) и Y (е)

Движение автомобиля в направлении поступательного движения (ось X) осуществляется с ускорением, близким к нулевому, что характеризует кривая полиномиального тренда на рис. 1б. Но наблюдаются отдельные участки с незначительным отклонением ускорения от нулевого (до 0,2 м/с²).

Среднее значение ускорения по вертикальной оси практически равно нулю (рис. 1,а).

Такое движение автомобиля определяет его устойчивое состояние в выбранных направлениях осей и характеризуется графиками Пуанкаре, приведенными на рис. 1,д и 1,г соответственно. Точки временного ряда на этих графиках располагаются вдоль тренда, представляющего прямую линию. Их совокупность симметрична относительно тренда и сосредоточена вокруг центра тяжести точек.

Координаты центра масс \bar{G}_Y, \bar{G}_{Y-1} определяются по формулам:

$$\bar{G}_Y = \frac{\sum_{j=in}^{ik} g_j r_j}{\sum_{j=in}^{ik} r_j}; \quad \bar{G}_{Y-1} = \frac{\sum_{j=in-1}^{ik-1} g_j r_j}{\sum_{j=ik-1}^{ik-1} r_j},$$

где \bar{G}_Y, \bar{G}_{Y-1} – координаты центра масс точек на области определения графика Пуанкаре;

g_j, r_j – значение j -го элемента временного ряда значений сигнала и его вес;

Для первого графика (рис. 1,г) центр тяжести равен нулю, для второго графика (рис. 1,д) примерно равен 0,05. незначительное. Следует отметить, что, несмотря на незначительное отклонение параметров движения по оси X от устойчивого состояния, форма графика уже не симметрична относительно центра тяжести и отличается от симметричной формы графика для ускорения по оси Z.

Если же рассматривать временной ряд параметра объекта, характеризующий более высокую динамику изменения состояния объекта, то графики Пуанкаре существенно меняются. На рис.1в и рис.1е представлены результаты измерения ускорения по оси Y и соответствующий график Пуанкаре.

Линейный тренд на рис. 1,в незначительно отреагировал на существенное изменение ускорения на участке $\Delta t = [15; 27]$ сек. Этот участок временного ряда идентифицирует поворот налево, причем в данном случае водитель проходил поворот рывками, что ухудшало устойчивость автомобиля на дороге.

В отличие от графиков Пуанкаре для ускорения по осям X и Z (рис. 1,г,д), данный график характеризуется большим разбросом значений и существенной несимметричностью относительно центра координат. Это говорит о движении объекта, отличном от равноускоренного в данном направлении и, соответственно, отклонении объекта от состояния, характеризующего его стабильное движение при среднем постоянном ускорении.

Таким образом, графики Пуанкаре, соответствующие разным по стабильности контролируемого параметра временным участкам его временного ряда, существенно отличаются по форме и характеру распределения точек временного ряда.

Процесс отслеживания изменения параметра технического объекта. Как правило, при формировании графиков Пуанкаре используется большое количество временных отсчетов [17, 19, 20]. В случае динамических процессов нас может интересовать текущее изменение состояния объекта. Если рассматривать изменение состояния за небольшой промежуток времени, то невозможно сформировать большую выборку исходных данных. Часто сравнение текущего состояния с базовым не может дать достаточной информации о степени опасности для объекта и требуется, например, последовательное сравнение состояний во времени, чтобы отследить динамику их изменения. Очевидно, что требование обеспечения выборки вышеуказанного объема при решении этих задач невыполнимо.

Однако это не является основанием для утверждения, что собственно графики Пуанкаре не подходят для исследования и оценки состояния быстрых динамических процессов.

Для оценки быстропротекающих процессов важно определить, как изменяется состояние процесса во времени. В этом случае можно воспользоваться временным окном, которое будет двигаться вдоль временного ряда, вырезая из множества исходных данных подмножество с неизменным количеством временных отсчетов. Таким образом, подмножество будет характеризоваться постоянным количеством входящих в него элементов и положением на временной оси формирующего это множество временного окна, например, начальная и конечная временные точки для текущей версии подмножества.

Применение данного подхода к построению графиков Пуанкаре позволяет выявить динамику изменения состояния процесса.

Следует отметить, что в качестве временного интервала Δt выбирается минимальный промежуток времени, в течение которого для данного типа объекта характерен переход от одного среднего уровня снимаемого параметра к другому. Для каждого типа объекта и в зависимости от требований решаемой задачи временной интервал Δt будет различным.

Используя графики Пуанкаре, построим процедуру отслеживания изменения состояния объекта, используя только временной ряд определяющего параметра объекта. При этом задача заключается в создании процедуры, обеспечивающей отслеживание изменения состояния объекта в режиме реального времени с использованием микропроцессорного модуля, имеющего ограничения по производительности и объему хранимой информации.

В общем виде структура обобщенной однофакторной модели отслеживания изменения состояния технического объекта в динамике на основе анализа графиков Пуанкаре определяется кортежем

$$\langle X, Dt, Dp, S, R_S \rangle,$$

где X – временной ряд значений параметра объекта; Dt – параметры временного окна для формирования графиков Пуанкаре; Dp – последовательность, состоящая из графиков Пуанкаре, построенных на выборках временного ряда, выделенных соответствующей реализацией временного окна; S – множество различаемых состояний объекта, необходимых для оценки степени его работоспособности с учетом решаемой этим объектом задачи; R_S – совокупность критериев (функциональных и логических соотношений, правил и ограничений), сопоставляющих конкретному графику Пуанкаре соответствующее состояние объекта из множества S .

Процедура отслеживания состояния объекта определяется следующим обобщенным выражением:

$$S = F(Dp, R_S),$$

В результате реализации модели можно получить оценку состояния объекта на основе временного ряда значений параметра в реальном времени.

Для апробации подхода в качестве контролируемого параметра выбрано ускорение. В качестве критерия оценки изменения состояния автомобиля при движении выбрано отношение стандартных отклонений диаграммы рассеяния Пуанкаре, построенной на основе графика Пуанкаре [20]. Диаграмма рассеяния в данном случае обычно представляет собой эллипс, вписанный в график Пуанкаре. Однако, более технологично использовать в качестве диаграммы рассеяния прямоугольник. В целях проверки подхода к оценке установлено, что прямоугольник должен охватывать не менее 95% точек графика Пуанкаре. Центр диаграммы рассеяния совпадает с центром тяжести масс точек.

Анализ временных рядов ускорения при движении автомобиля позволил определить ориентировочные критерии для классификации состояний объекта в процессе движения.

Всего выделено два состояния:

Состояние стабильного движения – движение с «постоянным» ускорением, включая движение с нулевым ускорением ($SD1/SD2 \leq 0,60$).

Состояние нестабильного движения - движение с непостоянным ускорением ($SD1/SD2 > 0,60$).

Для апробации подхода рассмотрим изменение ускорения по оси Y при повороте автомобиля. Представленный на рис. 2 временной ряд не входил в массив рядов, который использовался для выработки критерия.

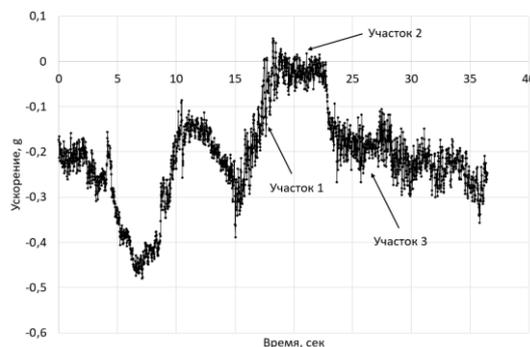


Рис. 2. Ускорение по оси Y

Состоянию стабильного движения в примере соответствует движение объекта, когда его ускорение в течение заданного временного интервала не изменяется на величину больше, чем 10 % от среднего значения на этом же интервале. Под ускорением в данном случае понимается его сглаженное значение (без шумовой составляющей и с учетом исключения выбросов).

Проведенный анализ графиков Пуанкаре для участков 1, 2 и 3 с помощью выработанных критериев показал, что участок 1 соответствует состоянию неустойчивого движения (рис. 3,а), а участки 2 и 3 – состоянию относительно стабильного движения (рис. 3,б,в).

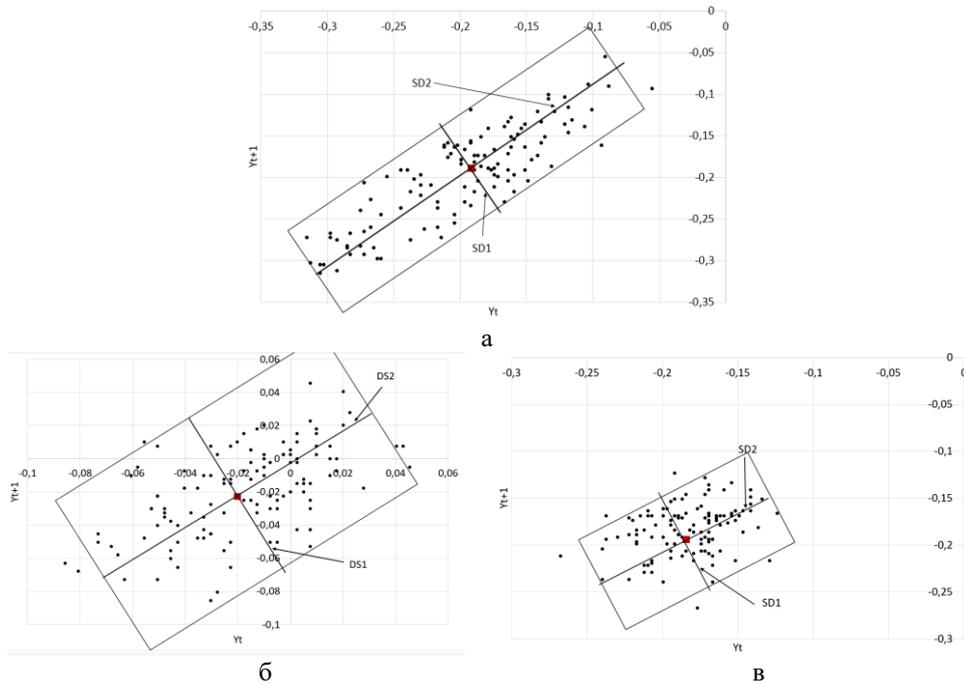


Рис. 11. График Пуанкаре, соответствующий изменению ускорения по оси Y на участках 1 (а), 2 (б) и 3 (в)

Экспертная оценка состояния объекта при движении соответствует полученной в результате процедуры построения и анализа графиков Пуанкаре.

Заключение. Особенность представленного способа классификации состояний объекта заключается в том, что не выполняется предварительная обработка сильно зашумленных исходных данных. Это позволяет выполнять классификацию без дополнительных процедур подготовки данных, например, анализа и исключения выбросов, сглаживании данных и других. Поэтому реализация процедуры классификации возможна в реальном времени в процессе функционирования объекта штатными вычислительными средствами преимущественно в фоновом режиме.

Следует отметить, что конкретная процедура оценки может быть иной. В данном примере в качестве базового компонента диаграммы рассеяния выбран прямоугольник, поскольку процедура его формирования выглядит достаточно простой. Однако, возможны другие подходы к выбору критерия и его вычислению.

Погрешность определения принадлежности состояния объекта к одному из двух классов составила величину не более 15 %. Оценка проводилась с учетом критерия принадлежности к состоянию стабильного движения, сформулированно-

му выше. Определение сглаженного значения ускорения на заданном временном интервале осуществлялось с использованием модели сглаживающего временного ряда первой степени. На величину погрешности существенно влияет объем выборки значений анализируемого временного ряда, которая в свою очередь зависит от величины временного интервала. Однако, увеличение временного интервала может не только не снизить погрешность, но и привести к невозможности классификации состояний, поскольку он формируется на основе анализа особенностей динамики объекта и существенным образом зависит от его инерционных свойств.

Использование двух и более критериев позволит увеличить количество уровней классификации и более точно идентифицировать состояние объекта. Однако количество уровней классификации состояний объекта определяется решаемой задачей мониторинга и управления, а также возможностью выделения состояний на основе контролируемых параметров и выполняемых объектом функций.

Тем не менее, проведенный анализ показал, что графики Пуанкаре на основе обработки экспериментального временного ряда контролируемого параметра могут быть использованы для отслеживания изменения состояния объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 232 с.
2. Васильев В.В., Грездов Г.И., Симак Л.А. и др. Моделирование динамических систем: Аспекты мониторинга и обработки сигналов / под ред. В.В. Васильева. – К.: НАН Украины, 2002. – 344 с.
3. Steblev Yu.I., Susarev S.V., Bykov D.E. The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects // Russian Journal of Nondestructive Testing. – April 2015. – Vol. 51, Issue 4. – P 185-197.
4. Vasiliev V.V. Modern problems of computer monitoring in power engineering // News TSURE. – 2001. – No. 3. – P. 99-120.
5. Pyavchenko O.N., Gorelova G.V., Bojanic A.V. Klevtsov S.I., Klevtsova A.B. Methods and algorithms for modeling of complex situations: the monograph. – Taganrog: Publishing house TRTU, 2003. – 157 p.
6. Krivosheev I.A., Rozhkov K.E., Simonov N.B. Complex Diagnostic Index for Technical Condition Assessment for GTE // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 176-181 (International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017).
7. Jerzy Hoja, Grzegorz Lentka. A family of new generation miniaturized impedance an analyzers for technical object diagnostics // Metrology and measurement systems. – 2013. – Vol. XX, No. 1.
8. Клевицов С.И. Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С.43-48.
9. Klevtsova A.B. Integral estimation of the object state monitoring // News TSURE. – 2004. – № 2 (37). – P. 58-66.
10. Клевицов С.И. Прогнозирование измерения состояния параметров технического объекта с помощью интеллектуального микропроцессорного модуля // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем – 2010: Сб. трудов. – М.: ИППМ РАН, 2010. – С. 619-622.
11. Matuszewski J. Application of clustering methods for recognition of technical objects // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2010 International Conference. – 2010. – P. 39-40.
12. Lihua Sun, Yingjun Guo, Haichao Ran. A New Method of Early Real-Time Fault Diagnosis for Technical Process // Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference. – Wuhan, China, 2010. – P. 4912-4915.
13. Stanislaw Duer. Diagnostic system with an artificial neural network in diagnostics of an analogue technical object // Neural Computing and Applications. – February 2010. – Vol. 19, Issue 1. – P. 55-60.

14. *Klevtsov Sergei I.* Identification of the state of technical objects based on analyzing a limited set of parameters // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): Proceedings. National Research University Higher School of Economics. Russia, Moscow, May 12-14, 2016. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7491752/>.
15. *Pyavchenko O.N.* Conceptual understanding of precision intelligent microprocessor modules for input, measurement and processing of analog signals // *News TSURE*. – 2007. – № 3 (75). – P. 3-13.
16. *Новоселов О.Н.* Идентификация и анализ динамических систем: монография. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ГОУ ВПО МГУИ, 2010. – 424 с.
17. *Гуфельд И.Л., Гаврилов В.А., Корольков А.В., Новоселов О.Н.* Эндогенная активность Земли и декомпрессионная модель сейсмического шума // Докл. РАН. – 2008. – Т. 423, № 6. – С. 811-814.
18. *Орлов В.Н.* Руководство по электрокардиографии. – М.: Медицина, 1984. – 526 с. – DOI: 10.1109/BMEiCon.2013.6687679.
19. *Kannakorn Intharakham, Kesorn Suwanprasert.* Complexity of Autonomic control during Cerebrovascular Reactivity // Proceedings of the 6th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON2013), October 2013.
20. *Carmen González, Erik W. Jensen, Pedro L. Gambús, Montserrat Vallverdú.* Poincaré plot analysis of cerebral blood flow signals: Feature extraction and classification methods for apnea detection // Published PLoS ONE: December 2018. – No. 7. – P. 43-52. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208642>.
21. *Jan Monieta* Selection of Diagnostic Symptoms and Injection Subsystems of Marine Reciprocating Internal Combustion Engines // *Appl. Sci.* – 2019. – No. 9 (8). – P. 1540. – <https://doi.org/10.3390/app9081540>.

REFERENCES

1. *Bukov V.N.* Adaptivnye prognoziryuyushchie sistemy upravleniya poletom [Adaptive predictive flight control systems]. Moscow: Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1981, 232 p.
2. *Vasil'ev V.V., Grezdov G.I., Simak L.A. i dr.* Modelirovanie dinamicheskikh sistem: Aspekty monitoringa i obrabotki signalov [Modeling of dynamic systems: Aspects of monitoring and signal processing], ed. by V.V. Vasil'eva. Kyev: NAN Ukrainy, 2002, 344 p.
3. *Steblev Yu.I., Susarev S.V., Bykov D.E.* The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, April 2015, Vol. 51, Issue 4, pp 185-197.
4. *Vasiliev V.V.* Modern problems of computer monitoring in power engineering // *News TSURE*. – 2001. – No. 3. – P. 99-120.
5. *Pyavchenko O.N., Gorelova G.V., Bojanic A.V. Klevtsov S.I., Klevtsova A.B.* Methods and algorithms for modeling of complex situations: the monograph. Taganrog: Publishing house TRTU, 2003, 157 p.
6. *Krivosheev I.A., Rozhkov K.E., Simonov N.B.* Complex Diagnostic Index for Technical Condition Assessment for GTE, *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 206, pp. 176-181 (International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017).
7. *Jerzy Hoja, Grzegorz Lentka.* A family of new generation miniaturized impedance an analyzers for technical object diagnostics, *Metrology and measurement systems*, 2013, Vol. XX, No. 1.
8. *Klevtsov S.I.* Predvaritel'naya otsenka sostoyaniya sovokupnosti parametrov tekhnicheskogo ob"ekta s ispol'zovaniem intellektual'nogo mikroprotsessornogo modulya [Preliminary assessment of the state of a set of technical object parameters using an intelligent microprocessor module], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 5 (106), pp. 43-48.
9. *Klevtsova A.B.* Integral estimation of the object state monitoring, *News TSURE*, 2004, No. 2 (37), pp. 58-66.
10. *Klevtsov S.I.* Prognozirovanie izmereniya sostoyaniya parametrov tekhnicheskogo ob"ekta s pomoshch'yu intellektual'nogo mikroprotsessornogo modulya [Predicting the measurement of the state of technical object parameters using an intelligent microprocessor module], *Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem – 2010: Sb. trudov* [Problems of development of perspective micro-and nanoelectronic systems-2010: Collection of works]. Moscow: IPPM RAN, 2010, pp. 619-622.

11. *Matuszewski J.* Application of clustering methods for recognition of technical objects, *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2010 International Conference*, 2010, pp. 39-40.
12. *Lihua Sun, Yingjun Guo, Haichao Ran.* A New Method of Early Real-Time Fault Diagnosis for Technical Process, *Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference*. Wuhan, China, 2010, pp. 4912-4915.
13. *Stanislaw Duer.* Diagnostic system with an artificial neural network in diagnostics of an analogue technical object, *Neural Computing and Applications*, February 2010, Vol. 19, Issue 1, pp. 55-60.
14. *Klevtsov Sergei I.* Identification of the state of technical objects based on analyzing a limited set of parameters, *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): Proceedings. National Research University Higher School of Economics. Russia, Moscow, May 12-14, 2016*. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7491752/>.
15. *Pyavchenko O.N.* Conceptual understanding of precision intelligent microprocessor modules for input, measurement and processing of analog signals, *News TSURE*, 2007, No. 3 (75), pp. 3-13.
16. *Novoselov O.N.* Identifikatsiya i analiz dinamicheskikh sistem: monografiya [Identification and analysis of dynamic systems: monograph]. 3 ed. Moscow: GOU VPO MGUL, 2010, 424 p.
17. *Gufel'd I.L., Gavrilov V.A., Korol'kov A.V., Novoselov O.N.* Endogennaya aktivnost' Zemli i dekompressionnaya model' seymicheskogo shuma [Endogenous activity of the Earth and de-compression model of seismic noise], *Dokl. RAN* [Reports of the Russian Academy of Sciences], 2008, Vol. 423, No. 6, pp. 811-814.
18. *Orlov V.N.* Rukovodstvo po elektrokardiografii [Manual of electrocardiography]. Moscow: Meditsina, 1984, 526 p. DOI: 10.1109/BMEiCon.2013.6687679.
19. *Kannakorn Intharakham, Kesorn Suwanprasert.* Complexity of Autonomic control during Cerebrovascular Reactivity, *Proceedings of the 6th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON2013), October 2013*.
20. *Carmen González, Erik W. Jensen, Pedro L. Gambús, Montserrat Vallverdú.* Poincaré plot analysis of cerebral blood flow signals: Feature extraction and classification methods for apnea detection, *Published PLoS ONE: December 2018*, No. 7, pp. 43-52. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208642>.
21. *Jan Monieta* Selection of Diagnostic Symptoms and Injection Subsystems of Marine Reciprocating Internal Combustion Engines, *Appl. Sci*, 2019, No. 9 (8), pp. 1540. Available at: <https://doi.org/10.3390/app9081540>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютиков.

Клевцов Сергей Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: sergkmps@mail.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; к.т.н.; доцент.

Klevtsov Sergey Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: sergkmps@mail.ru; 81, Petrovsky, street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328025; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 621.317

DOI 10.18522/2311-3103-2020-3-55-68

Х.М.Б. Нсуе, В.П. Федосов, С.В. Кучерявенко

ЦИФРОВОЙ УМНОЖИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW

Статья нацелена на измерение параметров гармонического процесса умножительно-преобразовательным методом. Моделирование осуществилось благодаря использованию программной среды LabVIEW, применительно к цифровому умножительно-преобразовательному методу, главные моменты которого представим в виде прогрессирующей цепочки: а) выработка первого гармонического процесса; б) перемножение показателя первого гармониче-