

УДК 681.326

doi: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.036

Т.И. Лапина, Е.А. Петрик, Д.В. Лапин, Е.А. Криушин
**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА
ПАРАМЕТРОВ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ**
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»,
Курск, Россия

Рассмотрен подход к построению системы мониторинга параметров случайного процесса на примере построения системы контроля деформаций конструкций потенциально-опасных объектов. Предложены средства измерения динамических деформаций положения элементов конструкций наблюдаемых объектов, организация системы сбора, обработки и анализа технологических данных с измерительных устройств и их интеграция в режиме реального времени, интеграция разнородных данных и расчетных модулей в распределенную систему обработки информации. Предложен подход к классификации измерений деформаций, формирования информативных признаков описания динамики случайного процесса и оценке риска возникновения аварийной ситуации на потенциально-опасном объекте. Классификацию данных измерений предложено выполнять на основе метода нормирования выборочных распределений, позволяющего понизить вычислительную сложность процедуры классификации. Рассмотрена структура программно-технического комплекса контроля состояния технологического оборудования распределенных промышленных объектов, включающего три подсистемы: подсистема сбора информации с контролируемых узлов конструкций и предварительной обработки данных; подсистема интеграции и накопления (хранения) данных; подсистема анализа данных и оценки ситуаций.

Ключевые слова: системы мониторинга, риск-анализ, нормирование данных

Одним из важных аспектов проблемы техногенной безопасности является конструкционная безопасность. Актуальность и практическая значимость исследований в этой области резко возрастает по мере расширения номенклатуры технических систем, увеличения их проектных ресурсов и повышения требований к безопасности.

Для решения задачи обеспечения конструкционной безопасности в настоящее время используются современные автоматизированные системы мониторинга, направленные на создание информационной базы, позволяющей в реальном масштабе времени получать, анализировать и документировать сведения о состоянии элементов наиболее ответственных конструктивных частей, влияющей на безопасность эксплуатации контролируемого объекта.

Такой подход дает возможность своевременного оповещения эксплуатационных служб о надвигающейся чрезвычайной ситуации, когда накопление неблагоприятных деформаций происходит постоянно с

нарастающим итогом и приближается к критическим величинам. В данной статье рассмотрен подход к построению программно-технического комплекса мониторинга и контроля конструкционной безопасности технологического оборудования.

Создание систем мониторинга конструкционной безопасности требует решения следующих задач:

- разработка средств измерения динамических деформаций и изменения положения элементов конструкций наблюдаемых объектов;
- организация системы сбора, обработки и анализа технологических данных с измерительных устройств и их интеграция в режиме реального времени;
- интеграция разнородных данных и расчетных модулей в целостную распределенную систему обработки информации;
- классификация полученных данных и, соответственно, их источников;
- прогнозирование динамики изменения и риска возникновения аварийной ситуации на объекте;
- создание программно-технического комплекса контроля состояния технологического оборудования сосредоточенных и распределенных промышленных объектов.

В соответствии с решаемыми задачами программно-технический комплекс контроля включает три подсистемы:

- подсистема сбора информации с контролируемых узлов конструкций и предварительной обработки данных;
- подсистема интеграции и накопления (хранения) данных;
- подсистема анализа данных и прогнозирования ситуаций.

Структурно-функциональная схема системы мониторинга и контроля конструкционной безопасности приведена на Рисунке 1.

Система построена по иерархическому принципу. На нижнем уровне интеллектуальные датчики (ИД), осуществляющие первичную обработку данных, и контроллер сбора данных, осуществляющий интеграцию данных, полученных от ИД, объединяются в единую подсистему с помощью одной из промышленных сетей (например, Modbus) [1], физический уровень которой реализован на основе интерфейса RS-485. На следующем уровне обмен данными между контроллерами сбора данных и сервером происходит по сети Industrial Ethernet («промышленный Ethernet»). В случае, когда расположение контролируемого объекта не позволяет использовать проводное подключение к серверу, возможно использование беспроводных сетей (WLAN). При значительном удалении выходом

является организация доступа через сеть Интернет (например, по каналам сотовой связи) с использованием технологии VPN.

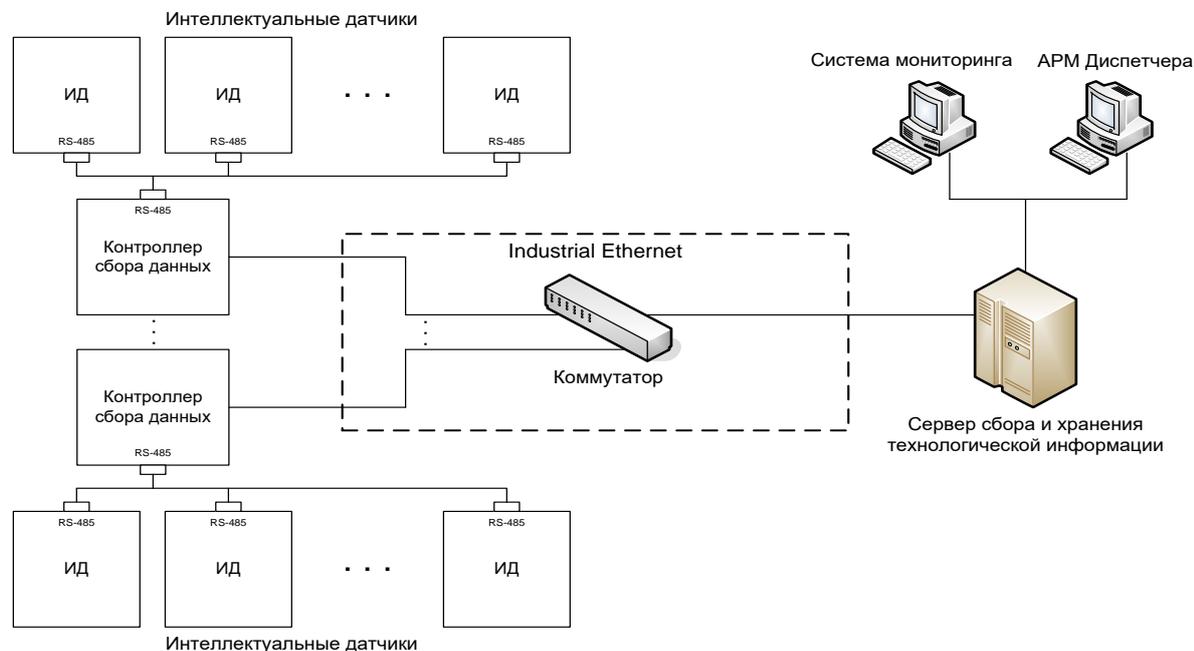


Рисунок 1 - Структурно-функциональная схема системы мониторинга

Подсистема сбора информации является неотъемлемой частью автоматизированных систем и включает узлы измерения параметров наблюдаемого процесса с помощью различных датчиков, что требует создания специального программного обеспечения, реализующего методы обработки информации, полученной от датчиков устройств контроля. Интеллектуальные датчики деформаций, позволяют выполнить контроль деформаций конструкций объекта путем измерения радиальных составляющих перемещения независимо от ориентации силовосвительного элемента датчика в пространстве [4].

Интеллектуальный датчик представляют собой совмещенный блок, содержащий многокомпонентный датчик перемещений (совокупность первичных преобразователей) и контроллер, содержащего вторичные преобразователи и осуществляющего предварительную обработку данных с датчика, а также включающего интерфейсный блок для взаимодействия с контроллером сбора данных [2]. Используемый при построении системы мониторинга и контроля датчик включает восемь пьезоэлементов, расположенных в кольце чувствительного элемента. Кроме того, датчик обладает высокой надежностью и малыми габаритами.

Вариант построения структурно-функциональной схемы интеллектуального датчика представлен на Рисунке 2.

Особенностью датчика является возможность производить измерение радиальных составляющих перемещения независимо от ориентации силовосчувствительного элемента в пространстве. Пьезоэлементы ориентированны и подключены в электрические схемы таким образом, что выходной сигнал зависит лишь от одной составляющей перемещения, которую измеряет данный канал, что позволяет фиксировать не только величину усилия деформации, возникающей в конструкции объекта, но и ее направление. Кроме того, датчик обладает высокой надежностью и малыми габаритами.

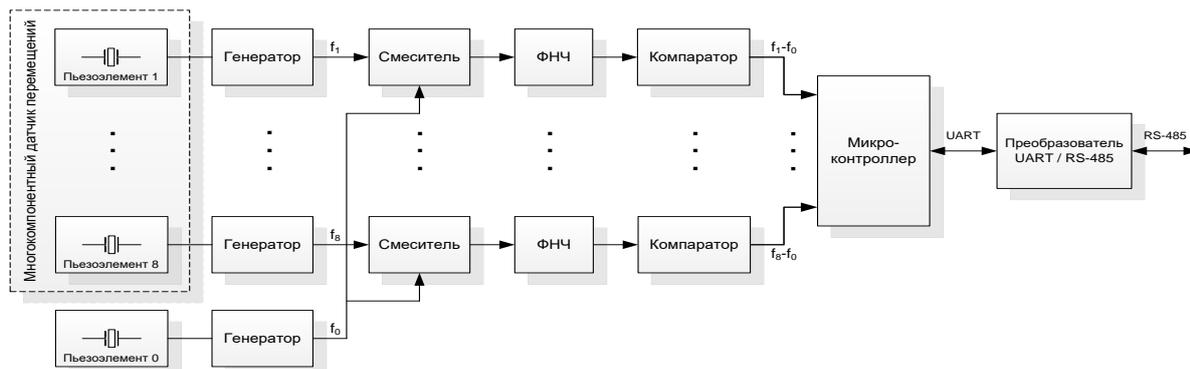


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема интеллектуального датчика

В интеллектуальном датчике используются силовосчувствительные пьезоэлементы, преобразующие деформацию растяжения или сжатия в частотный сигнал. Пьезоэлемент 0 предназначен для формирования сигнала опорной частоты. Сигналы от генераторов, частота которых определяется соответствующим пьезоэлементом, поступают на смесители, а далее – на фильтры низких частот (ФНЧ). Компараторы формируют прямоугольные импульсы требуемого логического уровня. Таким образом, на микроконтроллер поступают сигналы, частота которых равна разности частоты, задаваемой соответствующим пьезоэлементом многокомпонентного датчика, и опорной. Микроконтроллер осуществляет первичную обработку данных (фильтрация по скользящему среднему и т.п.) и по запросу передает результат контроллеру сбора данных.

Работа подсистемы сбора данных происходит следующим образом. Контроллеры сбора данных производят циклический (возможен и выборочный) опрос интеллектуальных датчиков и осуществляют на основе полученных данных расчет контролируемых параметров. По результатам сравнения вычисленного значения и допустимого (безопасного) интервала отклонения контроллер принимает решение о немедленной передаче данных в подсистему анализа, сохранение информации о событии в локальной памяти, а также о задействовании средств индикации опасного

состояния, подключенных непосредственно к контроллеру (при их наличии). Это позволяет снизить объем сетевого трафика, вычислительную нагрузку на компоненты более высокого уровня, а также возможность автономной работы.

Изменения также передаются в центральную базу данных, где они обновляют параметры, связанные с текущим состоянием объектов контроля.

С помощью многокомпонентных датчиков и подсистемы сбора информации с контролируемых узлов конструкций решаются первые две задачи из перечисленных ранее: разработка средств измерения и построение подсистемы учета данных. Следует отметить, что получение исходных данных определяет возможность и полноту реализации задач анализа, поэтому особое значение имеют средства измерения. Решение задач классификации полученных данных и соответственно их источников, прогнозирование динамики изменения показателей и риска возникновения аварийной ситуации на объекте может быть выполнено с помощью нейронных сетей с различной структурой и спецификой или иными способами.

Подсистема интеграции и накопления данных, расположенная на сервере, обеспечивает получение полезной информации, содержащейся в сигналах средств измерения. Число возможных параметров, которые регистрируются, может быть довольно большим, поэтому очень важным является избрание наиболее информативных параметров, несущих необходимую информацию о динамике деформаций поверхностей объектов.

Расчет параметров деформации, объектов $\{u_1, \dots, u_n\}$ должен выполняться как в стационарном, так и в динамическом режимах. В стационарном режиме рассчитываются показатели по контрольным точкам с определенным фиксированным интервалом. Полученные на текущем шаге значения сравниваются со значениями предыдущего шага. При заданном расхождении значений новые значения показателей запоминаются в системе мониторинга, в противном случае игнорируются.

В динамическом режиме вычисляются скорости изменения параметров. Расчет указанных параметров производится с минимальным шагом, который может обеспечить выбранные аппаратные средства системы мониторинга. Все рассчитанные значения запоминаются в банке данных системы мониторинга (уровень сбора исходных данных, см. Рисунок 3).

При регистрации сигналов датчиков регистрируются следующие параметры; A_i – фиксируемые значения амплитуда сигнала, превышающих

заданный порог P ; T – период фиксации отклонений, время от превышения до ухода ниже порогового значения, номер датчика, определяющего контролируемую точку объекта, сигнал i -го пьезоэлемента, определяющего направление деформации, усилие деформации, фиксируемое МНОГОКОМПОНЕНТНЫМ датчиком.

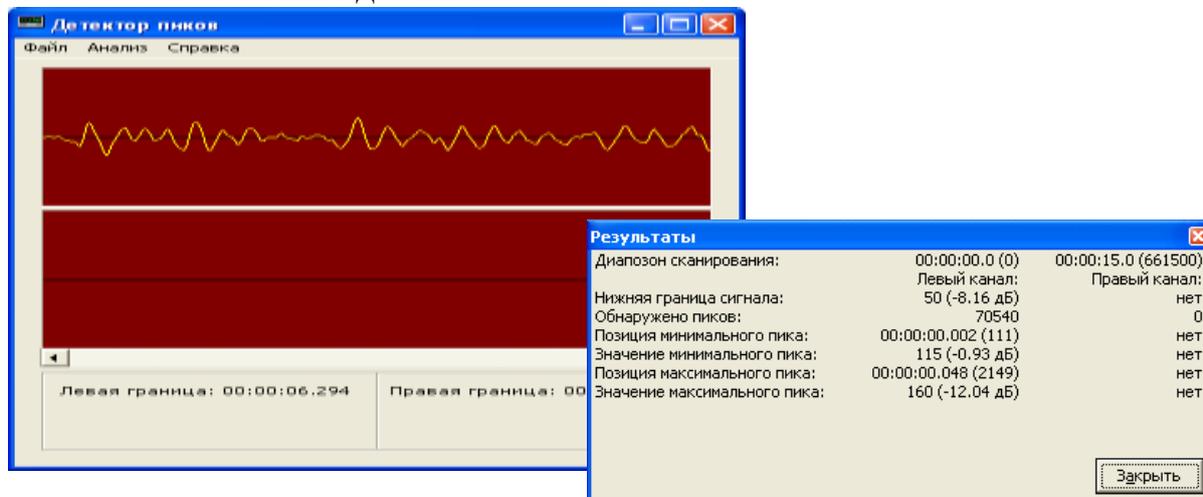


Рисунок 3 – Пример обработки результатов измерения входного сигнала

Датчики, установленные на поверхности объекта и входящие в состав интеллектуальных датчиков, воспринимают изменение деформации конструкций объекта $\{x_1(t), \dots, x_n(t)\}$. По запросу ИД рассчитываются параметры деформации объектов $\{u_1, \dots, u_n\}$ и передают результаты в контроллеры сбора данных. Контроллеры пересчитывают полученные данные о деформации в величины контролируемых показателей состояния $\{s_1(t), \dots, s_n(t)\}$, сравнивает с предельными уровнями допустимых деформаций объекта $\{w_1, \dots, w_n\}$ и передают данную информацию далее на сервер. Пользовательский интерфейс клиентского ПО, установленного на рабочих местах операторов, дает возможность управлять видом отображения данных о тренде параметров, определять количественные значения показателей деформаций в выбранных точках, их временную привязку, сопоставлять с событиями, возникающими в системе и видеть легенду всех отображаемых графиков.

Таким образом, с помощью датчиков и подсистемы сбора информации с контролируемых узлов конструкций решаются первые две задачи: разработка средств измерения и построение подсистемы учета данных.

Задачу классификации полученных данных предлагается выполнять с использованием подхода на основе метода нормирования выборочных распределений, позволяющий понизить вычислительную сложность процедуры классификации.

Будем интерпретировать вектор, составленный из переменных на входе как многомерный временной ряд. В этом случае задачу различения и классификации сигналов можно свести к задаче анализа структуры случайного процесса или временного ряда.

В настоящей работе данная задача решается с использованием метода нормирования данных и сравнения пар распределений [2].

Пусть в ограниченном пространстве $[x^-, x^+]$ заданы распределения

$$F_{\hat{x}_2}(x) \text{ и } F_{\hat{x}_1}(x) = \frac{(x_r - x^-)}{(x^+ - x^-)} = r_x, \quad (1)$$

где $F_{\hat{x}_2}(x)$, $x \in [x^-, x^+]$ - произвольное распределение;

$F_{\hat{x}_1}(x)$, $x \in [x^-, x^+]$ - равномерное распределение.

Разрешим $F_{\hat{x}_1}(x)$ относительно x_r : $x_r = r_x(x^+ - x^-) + x^-$ и подставим x_r в функцию $F_{\hat{x}_2}(x)$

$$F_{\hat{x}_2}(x_r) = F_{\hat{x}_2}(r_x(x^+ - x^-) + x^-) = F_r(r_x), \quad r_x \in [0,1], \quad (2)$$

где система функций $F_r(r_x) = r_x$ и $F_{\hat{x}_2}(r_x)$ есть модель представления пар распределений $F_{\hat{x}_1}(x)$ и $F_{\hat{x}_2}(x)$.

Для $F_{x_1}(x)$ и $F_{x_2}(x)$ введем понятие упорядочения $x \in [x_1^-, x_2^+]$ в виде преобразования $tx = t(x)$, $x \in [x^-, z^+]$, $t_x \in [t_x^- = x^-, t_x^+ = x^+]$. Тогда исходя из известного метода определения закона распределения функций от случайных величин t_x при заданных законах распределения исходных

случайных величин \hat{x} можно написать откуда следует

$$f_{t_x}(t_x) = f_x(x) \left| \frac{\partial t_x}{\partial x} \right| \Rightarrow f_x(t_x^{-1}) \left| \frac{\partial t_x}{\partial x} \right|,$$

$$f_x(x) = f_{t_x}(t_x) \left| \frac{\partial x}{\partial t_x} \right|. \quad (3)$$

Тогда:

$$\frac{\partial F_{r_2}(r)}{\partial r} = \frac{\partial F_{r_2}(r)}{\partial F_{r_1}(r)} = \frac{f_{x_2}(x_2)}{f_{x_1}(x_1)}. \quad (4)$$

Меры различия сравниваемых распределений строятся либо на числовых характеристиках выборочных данных, либо на информационных критериях. В связи с этим, важным является выбор меры, для обеспечения классификации измерений. В данной статье рассмотрен подход, при котором в качестве выбранной меры предлагается среднее количество информации по Кульбаку [1]:

$$I = \int_{x \in X} f_{\hat{x}_2}(x) \cdot \ln \left(\frac{f_{\hat{x}_2}(x)}{f_{\hat{x}_1}(x)} \right) dx. \quad (5)$$

Применяя модель представления пар распределений [3], формулу (5) можно преобразовать следующим образом

$$I = \int_{x \in X} \frac{f_{\hat{x}_2}(x)}{f_{\hat{x}_1}(x)} \cdot \ln \left(\frac{f_{\hat{x}_2}(x)}{f_{\hat{x}_1}(x)} \right) \cdot f_{\hat{x}_1}(x) dx = \int_0^1 f_{\hat{r}_2}(r) \cdot \ln(f_{\hat{r}_2}(r)) dr, \quad r \in [0,1],$$

или

$$I = \int_0^1 \frac{f_{\hat{r}_2}(r)}{f_{\hat{r}_1}(r)} \cdot \ln \left(\frac{f_{\hat{r}_2}(r)}{f_{\hat{r}_1}(r)} \right) \cdot f_{\hat{r}_1}(r) dr, \quad r \in [0,1] \quad (6)$$

где $f_{\hat{r}_1}(r) = 1$ - равномерное распределение в интервале $[0,1]$.

Последнее выражение фактически характеризует среднее количество информации в распределении $f_{\hat{r}_2}(r)$, заданного в интервале $[0,1]$ по отношению $f_{\hat{r}_1}(r) = 1$ для нормированного распределения.

Тогда выражение

$$I = \int_0^1 f_{\hat{r}_2}(r) \cdot \ln(f_{\hat{r}_2}(r)) dr \quad (7)$$

можно определить как меру различия выборочных данных $\{f_{\hat{r}_2}(r)\}$ в интервале $r \in [0,1]$, с равными значениями I по отношению к равномерному - $f_{\hat{r}_1}(r) = 1$.

Пусть на интервале $[0,1]$ заданы равномерное $f_{\hat{r}_1}(r) = 1$ и множество распределений $\{f_{\hat{r}_2}(r)\}$, тогда для функции $y = \varphi(r)$, $r \in [0,1]$, $y \in [0,1]$ выполняется равенство:

$$d^* = \max_{y \in [0,1]} |F_{\hat{y}}(y) - y|. \quad (8)$$

Мера различия выборочных данных I и расстояние d^* могут быть использованы в качестве критерия классификации при построении систем контроля.

Расчетные соотношения для оценки риска возникновения критических деформаций элементов конструкций контролируемых объектов при экспертизе безопасности получены на основе нормированных вероятностных моделей, рассмотренных в [3] и информационно-статистических критериев, основанных на энтропийных оценках $H_0 = H(q_0)$ нормального состояние объекта, и оценки риска отклонения определяется вероятностью того, что значение $P(\hat{H})$ не превысит значение H_0 [4]:

$$P(\hat{H}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(H)}} \int_{-\infty}^{H_0} \exp\left[-\frac{(H - H(q))^2}{2\sigma^2(H)}\right] dH \quad (1)$$

Таким образом, предложенный подход к построению система конструкционной безопасности потенциально-опасных объектов позволяет в режиме реального времени контролировать показатели деформаций конструкций технологического оборудования, характеризующих состояния объекта, позволяя предупреждать возникновение кризисных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапин, Д.В. Формирование системы признаков для идентификации пользователя по динамике воспроизведения подписи [Текст] / Д.В. Лапин // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. Т. 12. №5. С. 29-34.
2. Лапина, Т.И. Подход к автоматизации идентификационных измерений сигналов в телекоммуникационных системах [Текст] / Т.И.Лапина, Д.В. Лапин // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13. № 6. С. 63-67.
3. Лапина, Т.И. Подход к классификации цифровых сигналов в системах контроля доступа/ Т.И.ж Лапина, Д.В.Лапин Е.А., Петрик, Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. т.11, № 9. с. 58-64.
4. Патент № 2475842 Российской Федерации Цифровой многокомпонентный датчик перемещений/ Милых В.А., Лапин Д.В., Лапина Т.И., Заявка № 2011142722/08 от 21.10.2011, опубл. 20.02.2013, Бюл. №5.
5. Патент № 2475699 Российской Федерации Устройство измерения параметров пищащего узла/ Милых В.А., Лапин Д.В., Лапина Т.И. Заявка № 2011113800/28, 08.04.2011, опубл. 20.02.04.2013, Бюл. №5.
6. Патент № 469397 Российской Федерации Способ биометрической аутентификации по почерку в компьютеризированной системе контроля доступа / Милых В.А., Лапин Д.В., Лапина Т.И., Заявка № 2011140031/08, 30.09.2011, опубл. 10.12.2012, Бюл. №34.

T.I. Lapina, E.A. Petrik, D.V. Lapin, E.A. Kriushin
**THE CONDITION MONITORING SYSTEM DESIGNS
POTENTIALLY-DANGEROUS OBJECTS**
South-West State University, Kursk, Russia

Approach to creation of a system of monitoring of parameters of accidental process on an example of creation of a control system of deformations of designs of potential and

dangerous objects is considered. Measuring instruments of dynamic deformations of provision of structural elements of observed objects, the organization of a system of collecting, processing and analysis of technological data from measuring devices and their integration in real time, integration of diverse data and settlement modules the distributed system of information processing are offered. Approach to classification of measurements of deformations, formations of informative signs of the description of dynamics of accidental process and assessment of risk of emergency on a potential and dangerous object is offered. It is offered to carry out classification of these measurements on the basis of a method of the rationing of selective distributions allowing to lower computing complexity of the procedure of classification. The structure of a software and hardware complex of control of a condition of the processing equipment of the distributed industrial facilities including three subsystems is considered: a subsystem of collection of information from controlled knots of designs and preliminary data processing; subsystem of integration and accumulation (storage) of data; subsystem of the analysis of data and assessment of situations.

Keywords: constructional risk-analysis, systems of monitoring, rationing of data

REFERENCES

1. Lapin, D.V. Formirovanie sistemy priznakov dlya identifikatsii pol'zovatelya po dinamike vosproizvedeniya podpisov [Tekst] / D.V Lapin // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2014. Vol.12. No.5. pp. 29-34.
2. Lapina, T.I Podkhod k avtomatizatsii identifikatsionnykh izmereniy signalov v telekommunikatsionnykh sistemakh [Tekst] / T.I.Lapina, D.V Lapin // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2015. Vol.13. No. 6. pp. 63-67.
3. Lapina, T.I. Podkhod k klassifikatsii tsifrovyykh signalov v sistemakh kontrolya dostupa/ T.I. Lapina, D.V.Lapin E.A., Petrik, Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2013. t.11, No. 9. pp. 58-64.
4. Patent No. 2475842 Rossiyskoy Federatsii Tsifrovoy mnogokomponentnyy datchik peremeshcheniy/ Milykh V.A., Lapin D.V., Lapina T.I., Zayavka No. 2011142722/08 ot 21.10.2011, opubl. 20.02.2013, Byul. No.5.
5. Patent No. 2475699 Rossiyskoy Federatsii Ustroystvo izmereniya parametrov pishushchego uzla/ Milykh V.A., Lapin D.V., Lapina T.I. Zayavka No. 2011113800/28, 08.04.2011, opubl. 20.02.04.2013, Byul. No.5.
6. Patent No. 469397 Rossiyskoy Federatsii Sposob biometricheskoy autentifikatsii po pocherku v komp'yuterizirovannoy sisteme kontrolya dostupa / Milykh V.A., Lapin D.V., Lapina T.I., Zayavka No. 2011140031/08, 30.09.2011, opubl. 10.12.2012, Byul. No.34.