

С.И. Клевцов**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ
СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТОЧЕК
ВРЕМЕННОГО РЯДА ПАРАМЕТРА**

Оценка работоспособности технического объекта в режиме реального времени важна для устойчивого и безаварийного функционирования объекта в процессе его эксплуатации. Ранее была предложена модель классификации скорости изменения параметра на основе специализированной обработки облака точек участка временного ряда без извлечения тренда. Однако, некоторые предложения, например, связанные с невключением части точек ряда в процедуру построения модели, не были достаточно обоснованы и являются неочевидной попыткой избавиться от аномальных значений временного ряда. Некоторые этапы реализации модели, например, построение эллипса на преобразованном облаке точек, требуют детального представления, что важно для дальнейшего обучения модели и проведения классификации. В статье в рамках предварительной подготовки данных предложена процедура выявления и отсеивания аномальных значений временного ряда параметра, основанная на модификации метода Ирвина. Кроме того, представлена уточненная схема оценки значений критерия в модели классификации состояния параметра технического объекта. За критерий оценки взят коэффициент сжатия эллипса, который строится на облаке точек диаграммы рассеяния, вырезанных скользящим временным окном из временного ряда параметра. Для этого разработана итерационная процедура построения эллипса. Новая процедура обеспечивает более обоснованную и точную оценку критерия. Таким образом, построена модифицированная модель, которая позволит оценить в реальном времени появления нештатной ситуации на ранней стадии ее развития. Процедура оценки может быть реализована в составе программно-аппаратных средств системы мониторинга технического объекта.

Идентификация; оценка состояния; классификация параметров технического объекта; микроконтроллер.

S.I. Klevtsov**FEATURES OF THE FORMATION OF THE PROCESS OF CLASSIFYING
THE CONDITION OF A TECHNICAL FACILITY BASED ON THE ANALYSIS
OF POINTS IN THE TIME SERIES OF THE PARAMETER**

Assessment of the operability of a technical facility in real time is important for the stable and trouble-free operation of the facility during its operation. Previously, a classification model for the rate of parameter change was proposed based on specialized point cloud processing of a time series segment without trend extraction. However, some proposals, for example, related to the non-inclusion of some points of the series in the model construction procedure, were not sufficiently justified and are an unobvious attempt to get rid of abnormal values of the time series. Some stages of the model implementation, for example, building an ellipse on a transformed point cloud, require a detailed representation, which is important for further model training and classification. In the article, as part of the preliminary data preparation, a procedure is proposed for detecting and screening out abnormal values of the time series of a parameter based on a modification of the Irwin method. In addition, an updated scheme for evaluating the values of the criterion in the classification model for the condition of a technical facility parameter is presented. The ellipse compression ratio is used as the evaluation criterion, which is based on a cloud of scatter plot points cut out by a sliding time window from the time series of the parameter. An iterative ellipse construction procedure has been developed for this purpose. The new procedure provides a more informed and accurate assessment of the criterion. Thus, a modified model has been built that will allow real-time assessment of the occurrence of an emergency situation at an early stage of its development. The evaluation procedure can be implemented as part of the hardware and software of the monitoring system of a technical facility.

Identification; condition evaluation technical object; parameter microcontroller classification.

Введение. Вопросы, связанные с оценкой работоспособности технического объекта в режиме реального времени, являются одними из основных в процессе эксплуатации объекта. Системы мониторинга объекта отслеживают его состояние с помощью анализа поведения различных параметров. Особое внимание обращается на учет динамики изменения параметра, поскольку эта информация помогает прогнозировать работоспособность объекта и таким образом на ранних этапах деградации реализовать необходимые меры по предотвращению возможных нештатных ситуаций [1–5].

Подходы, используемые для оценки работоспособности, часто базируются на классификации текущего значения тренда значимого параметра [6–8]. Однако, при наличии существенного уровня шумовой составляющей простые алгоритмы выделения тренда, необходимые для режима реального времени, могут приводить к существенным погрешностям [9–13].

В связи с этим ранее была предложена модель классификации скорости изменения параметра на основе специализированной обработки облака точек участка временного ряда без извлечения тренда [14, 15]. Однако, некоторые предложения, например, связанные с невключением части точек ряда в процедуру построения модели, не были достаточно обоснованы и являются неочевидной попыткой избавиться от аномальных значений временного ряда. Некоторые этапы реализации модели, например, построение эллипса на преобразованном облаке точек, требуют детального представления, что важно для дальнейшего обучения модели и проведения классификации.

В целом, требуется модификация модели для повышения эффективности процесса оценки состояния технического объекта.

Постановка задачи. Модифицируемая модель позволяет оценить состояние технического объекта на основе поведения одного критического параметра, который влияет на остальные параметры объекта таким образом, что по его динамике можно судить о степени изменения других параметров [14, 15].

Значения критического параметра $z(t)$ фиксируются в дискретные моменты времени с постоянным шагом h . Шаг дискретизации h можно установить небольшим, чтобы изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов было бы незначительным. Тогда имеем массив $Z = \{z_i\}_{i=0}^n$ измеренных значений параметра $z_i = z(t_i)$ в точках t_0, t_1, \dots, t_n ; $t_i = t_{i-1} + h$.

В модели используется временное окно, которое вырезает при движении вдоль временной оси участок ряда с фиксированным количеством точек. Полученное подмножество точек используется для классификации скорости изменения параметра технического объекта [6].

В результате для временного окна T_k получим массив $Z_{T_k} = \{z_i\}_{i=k}^{k+K}$ значений параметра, где $z_i = z(t_i)$, $t_i = t_k, \dots, t_{k+K}$; $t_i = t_{i-1} + h$; $\{t_i\}_{i=k}^{k+K} \in T_k$; $Z_{T_k} \in Z$; $K \ll n$; $T_k = \{t_k, t_{k+1}, \dots, t_{k+K}\}$, $k = 1, 2, \dots, n - K$.

Классификации строится на основе набора значений критического параметра, определяемого временным окном. Параметр, используемый для оценки, может характеризоваться высоким уровнем шума. Поэтому для классификации используются данные временного ряда параметра без существенной предварительной обработки, за исключением процедуры исключения выбросов, которую необходимо определить. Также важно сформировать схему построения эллипса как основы для определения классов и критериев в модели.

Таким образом, требуется рассмотреть особенности реализации отдельных этапов предварительной обработки и консолидации данных для построения модифицированной модели классификации уровней скорости изменения параметра технического объекта, базирующейся на версии модели, представленной в [15].

Процедура обнаружения и исключения аномальных значений участка временного ряда. Для определения скорости изменения критичного параметра предлагается рассматривать его временной ряд с предварительным отсеиванием точек, которые являются выбросами, то есть такими значениями, которые резко отличаются по величине от рядом расположенных точек.

Исходный ряд – нестационарный, содержащий наличие отдельных выбросов, аномальных значений, которые необходимо исключить до проведения процедуры классификации. Выбросы существенным образом могут повлиять на процедуру оценки. Они способны привести к значительному изменению критериев R_c , так как влияют на конфигурацию эллипса, формируемого на основе облака точек временного ряда, вырезанного скользящим временным окном.

Для построения эллипса важна реальная конфигурация точек на временной оси ряда, поэтому методы, обычно используемые для устранения выбросов во временных рядах и которые базируются на алгоритмах сглаживания [16], в данном случае не применимы.

Необходимо точечное определение точки, которую считаем выбросом, и замена значения выброса на величину, которая бы не оказывала серьезного влияния на конфигурацию эллипса. В этом случае методы, базирующиеся на использовании прогнозной модели временного ряда при определении выбросов, также не подходят, поскольку возникают трудности с подбором такой модели. Если построить такую модель на точках скользящего временного окна, например, используя метод наименьших квадратов, то возникают проблемы выбора базового типа выражения для прогнозной модели. Но даже подобрав подходящую функцию, например, полином n -го порядка, можно получить недостаточно точную аппроксимацию на концах отрезка временного ряда, что недопустимо для отсеивания выбросов.

В связи с этим для определения выбросов будем использовать метод Ирвина [17, 18], адаптированный к особенностям данной задачи.

Поскольку в реальном временном ряде точки, которые необходимо определить как выбросы, могут располагаться одна за другой, группой не более m_v (например, в данной задаче, $m_v \sim 1 \div 3$), то классический вариант метода Ирвина не может быть использован.

Тогда можно предложить модифицированный метод Ирвина для отсеивания выбросов.

1. Имеется временной ряд параметра технического объекта $Z = \{z_i\}_{i=0}^n$. Выбираем участок d временного ряда, желательно, лежащий в его начале и свободный от выбросов. Обозначим массив точек, вырезанный участком d через $D = \{z_j\}, j = 1, \dots, n_d$. Участок должен выбираться достаточно небольшим, но много больше m_v . Также массив D может быть получен в результате проведения численного моделирования. Участок d одновременно будет выполнять функции скользящего временного окна. На участке d определение выбросов не проводится.

2. Для точек массива D определим среднеквадратическое отклонение

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_d} (z_j - \bar{z})^2}{n_d - 1}}, \text{ где } \bar{z} = \frac{\sum_{j=1}^{n_d} z_j}{n_d}.$$

3. Сдвинем временное окно d на 1 точку временного ряда вперед. Преобразуем вырезанный d ряд точек D в вариационный ряд D_v , например, все значения ряда расположим в порядке возрастания. Тогда ряд D_v выглядит следующим образом:

$D_v = \{\tilde{z}_k\}, k = 1, \dots, n_d$. На этапе преобразования D в D_v формируется схема соответствия индексов j и k так, чтобы по индексу k элемента ряда D_v можно найти индекс j элемента ряда D , то есть $z_j = \tilde{z}_k$.

4. В D_v на предмет наличия выбросов рассматриваются первый (наименьший) и последний (наибольший) элементы. Вычисляем критерий Ирвина для максимального и минимального значений:

$$I_{\max} = \frac{|\tilde{z}_{n_d} - \tilde{z}_{n_d-1}|}{\sigma_d}; I_{\min} = \frac{|\tilde{z}_1 - \tilde{z}_2|}{\sigma_d}.$$

5. Сравним расчетные значения I_{\max}, I_{\min} с табличным значением критерия I_{tab} . I_{tab} зависит от объема выборки n_d и уровня значимости [8, 9]. Если $I_{\max} > I_{tab}$ или $I_{\min} > I_{tab}$, то значение \tilde{z}_{n_d} или \tilde{z}_1 ряда D_v считаются аномальными значениями ряда. Из схемы соответствия индексов можно найти соответствующие индексы элементов ряда D .

6. Аномальное значение ряда заменяется значением по формуле параболической интерполяции:

$$z_{j+1} = 3z_j - 3z_{j-1} + z_{j-2}.$$

7. Если не достигнут конец ряда Z , то переход на пункт 2.

Таким образом получим обновленный ряд Z без аномальных значений.

Процедура формирования критериев для классификации степени изменения параметра на основе преобразования облака точек временного ряда. Для классификации используем специальное представление значений ряда z_i в виде диаграммы рассеяния, когда точка $M_i(x_i, y_i)$ в декартовой системе координат имеет координаты $x_i = z_i$ по оси абсцисс и $y_i = z_{i+1}$ по оси ординат [19, 20]. Таким образом, точка $M_i(x_i, y_i)$ характеризует изменение значения временного ряда за промежуток времени, равный h . Тогда массиву точек временного ряда $Z_{T_k} = \{z_i\}_{i=k}^{k+K}$ соответствует массив точек диаграммы рассеяния $M_{T_k} = \{M_i(x_i, y_i)\}_{i=k}^{k+K-1}$, где $x_i = z_i, y_i = z_{i+1}$.

Для классификации скорости изменения параметра определим кортеж [11]:

$$\langle S_k, Z_{T_k}, R_z, S_z, T_k \rangle, \quad (1)$$

где Z_{T_k} – массив значений параметра z во временном окне T_k (далее Z_k); R_z – вектор численных значений критерия оценки скорости изменения параметра Z , соответствующий вектору классов S_z , определяющему качественную оценку параметра. Каждый элемент вектора S_z связан с одним из элементов вектора R_z ; S_k – текущее значение класса для участка изменения параметра, зафиксированного временным окном $T_k, S_k \in S_z$.

В качестве численного критерия R_z предложено использовать коэффициент сжатия эллипса (эллиптичность) $k = b/a$, где a и b – большая и малая полуоси эллипса, поскольку облако точек диаграммы рассеяния для участка временного ряда технического параметра, как правило, имеет форму эллипса, а скорость изменения параметра можно представить на диаграмме рассеяния в виде сжатия или растяжения эллипса [11, 15].

В соответствии с (1) для оценки динамики изменения параметра предварительно необходимо определить элементы вектора классов S_z и критерий R_z . Поскольку вектор классов S_z определяет качественную оценку, то определение классов зависит от функционального назначения объекта и характеризует степень работоспособности объекта при том или ином уровне скорости изменения параметра, например, «работоспособен» и «не работоспособен» или «стабильное движение» и «нестабильное движение».

Значения критерия R_z , соответствующие классам S_z , определяются процедурой построения эллипса на облаке точек участка временного ряда.

Для определения направления большой оси эллипса, который можно сформировать на основе точек массива Z_{T_k} , вырезанных скользящим окном T_k из временного ряда $z(t)$, построим линейную функцию $y = d_1 \cdot x + d_0$. В качестве исходных данных рассматривался массив точек M_{T_k} . В качестве инструмента построения использовался метод наименьших квадратов.

Для определения второй оси эллипса требуется найти центр масс точек рассматриваемого участка ряда. Обозначим по оси абсцисс (ось x) и оси ординат (ось y) координаты центра масс точек из Z_{T_k} через G_{kx}, G_{ky} . Поскольку веса точек выделенного участка временного ряда в нашей задаче являются одинаковыми, их можно принять равными единице для всех точек.

Рассмотрим функционал $\Omega = \sum_{i=k}^{k+K-1} (\vec{r}_i - \vec{r}_G)^2$, где \vec{r}_i – радиус-вектор точки

$M_i(x_i, y_i)$ с координатами x_i и y_i , численно равными значениям временного ряда z_i и z_{i+1} ; \vec{r}_G – радиус-вектор центра масс точек диаграммы рассеяния для T_k временного окна.

Найдем координаты G_{kx}, G_{ky} из условия $\min_r \Omega$:

$$G_{kx} = \frac{\sum_{i=k}^{k+K-1} z_i}{K-1}; G_{ky} = \frac{\sum_{i=k+1}^{k+K} z_i}{K-1} \quad (2)$$

Через точку центра масс $G_k(G_{kx}, G_{ky})$ построим линию, перпендикулярную прямой $y = d_1 \cdot x + d_0$:

$$y = -\frac{1}{d_1} \cdot x + \left(G_{ky} + \frac{1}{d_1} \cdot G_{kx} \right).$$

Эта линия определяет направление малой оси эллипса.

На точках Z_{T_k} участка временного ряда $z(t)$ построим эллипс так, чтобы включал в себя все точки, за исключением тех, которые были признаны на этапе предварительной обработки ряда аномальными значениями.

Перенесем центр координат в точку $G_k(G_{kx}, G_{ky})$. Большая ось эллипса будет направлена вдоль прямой $y = d_1 \cdot x + d_0$ (ось абсцисс), а малая ось – вдоль перпендикулярной прямой (ось ординат).

На основе результатов, полученных в [11, 14, 15] облако точек параметра технического объекта, вырезанное скользящим временным окном, как правило, располагается в первом квадранте декартовой системы координат. Центр новой системы координат находится в точке $G_k(G_{kx}, G_{ky})$, а угол поворота относительно старой системы координат $\varphi < \pi/2$.

Новая система координат $O'x'y'$ (рис. 1) построена с помощью параллельного переноса исходной системы координат Oxy :

$$x = d_1 + x'; y = d_0 + y' \quad (3)$$

и поворота на угол φ :

$$x = x' \cdot \cos \varphi - y' \sin \varphi; y = x' \sin \varphi + y' \cos \varphi, \quad (4)$$

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1+d_1^2}}, \sin \varphi = a \cdot \sqrt{\frac{1}{1+d_1^2}}.$$

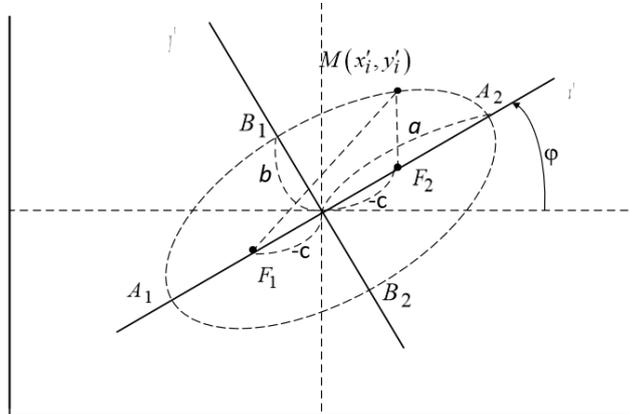


Рис. 1. Построение системы координат O'x'y'

На основе выражений (3) и (4) можно получить соотношения, связывающие координаты произвольной точки $M(x'_i, y'_i)$ в системе координат $O'x'y'$ с координатами той же точки $M(x_i, y_i)$ в системе координат Oxy :

$$x'_i = (x_i - d_1) \cdot \cos \varphi + (y_i - d_0) \cdot \sin \varphi, \tag{5}$$

$$y'_i = -(x_i - d_1) \cdot \sin \varphi + (y_i - d_0) \cdot \cos \varphi. \tag{6}$$

Соотношения (5) и (6) позволяют вычислить координаты точек, вырезанных временным окном, в новой системе координат, что необходимо для построения эллипса на облаке точек. В результате будем иметь множество $M'_{T_k} = \{M'_i(x'_i, y'_i)\}_{i=k}^{k+K-1}$ точек диаграммы рассеяния в новой системе координат $O'x'y'$

После процедуры удаления выбросов рассматриваются все точки, представленные на текущей диаграмме рассеяния. Выстроим множество точек $M'_{T_k} = \{M'_i(x'_i, y'_i)\}_{i=k}^{k+K-1}$ в ряд по возрастанию $|x'|$. Координата x'_{k+K-1} будет считаться первым приближением большой полуоси эллипса a . Аналогично можно определить координату y'_{k+K-1} , которая будет первым приближением малой полуоси эллипса b . Таким образом, получены оценки полуосей эллипса a и b .

Часть точек из может лежать вне эллипса, построенного на полученных полуосях a и b . Для проверки того, есть или нет точек, находящихся за пределами границы эллипса, можно использовать соотношения, связывающие произвольную точку эллипса с его фокусами F_1 и F_2 , а также большой полуосью.

Если $M(x'_j, y'_j)$ – точка на плоскости, а r_{1j} и r_{2j} – длины отрезков F_1M и F_2M соответственно, то для точки, принадлежащей эллипсу, $r_{1j} + r_{2j} = 2a$. Следовательно, точка $M(x'_j, y'_j)$ лежит вне кривой, формирующей эллипс, если $r_{1j} + r_{2j} > 2a$.

$r_{1j} = \sqrt{(x'_j + c)^2 + (y'_j)^2}$; $r_{2j} = \sqrt{(x'_j - c)^2 + (y'_j)^2}$; $c = \sqrt{a^2 - b^2}$. Расстояние между фокусами равно $2c$.

Для формирования множества точек, которые находятся вне эллипса, определим для каждой точки $M(x'_j, y'_j)$ из множества M'_{T_k} значение $r_{12j} = r_{1j} + r_{2j}$, $j = 1, \dots, K - 1$. Получим множество $\Omega = \{r_{12j}\}_{j=1}^{K-1}$. Упорядочим элементы множества Ω по возрастанию и определим r_{12s} такое, что $r_{12s} \leq 2a$, а $r_{12s+1} > 2a$, $s \in [1, \dots, K - 1]$.

Тогда все точки множества M'_s , содержащие точки $M_{s+1}(x', y'), \dots, M_{K-1}(x', y')$, находятся вне эллипса с полуосями a и b . Для этих точек справедливы неравенства:

$$|x'_l| \leq a, |y'_l| \leq b, l = s + 1, \dots, K - 1.$$

Таким образом, точки $M_i(x'_i, y'_i)$ лежат в секторах, ограниченных линией эллипса и прямыми $x' = \pm a, y' = \pm b$.

В процессе построения эллипс должен растягиваться во всех направлениях по определенной схеме, которая должна быть одинакова как при обучении модели и определении значений критериев, так и при последующем использовании для классификации возникающих ситуаций. Расширение эллипса связано с увеличением a и b . Шаг изменения возьмем равным величине, определенной из заданного значения погрешности измерения осей эллипса σ . Шаг изменения a берем из соотношения $\Delta a \leq \sigma \cdot a$, для $b - \Delta b \leq \sigma \cdot b$.

Тогда адаптации формы эллипса под облако точек с учетом вышеприведенного этапа обработки данных, заключается в реализации итерационной схемы:

1. Увеличим a и b на Δa и Δb соответственно. Получим новые значения a и b .
2. Вычислим для всех точек множества M'_s значения $r_{12} = r_1 + r_2$. Получим соответствующее множество Ω .
3. Упорядочим элементы множества Ω в порядке возрастания и определим новое значение r_{12s} такое, что $r_{12s} \leq 2a$, а $r_{12s+1} > 2a$.
4. Обновим состав точек множества M'_s с учетом п. 3.
5. Если $M'_s \neq \emptyset$, то возврат на п. 1
6. Если $M'_s = \emptyset$, то окончательные значения a и b равны текущим с погрешностью σ .

Полученный в результате построений коэффициент сжатия эллипса $k = b/a$ позволит получить на этапе обучения модели значения критерия R_z для классов S_z , а на этапе классификации – оценки состояния объекта в процессе измерения его критичного параметра.

Моделирование этапов предварительной обработки и консолидации данных для построения модифицированной модели. Для апробации полученных результатов в качестве исходных данных рассматривать ускорение автомобиля по оси Y [11, 13, 14]. Классификация осуществлялась с помощью модели [15], дополненной разработанными процедурами отсеивание выбросов и формирования специализированного представления облака точек временного ряда параметра.

На предварительном этапе была использована предложенная модифицированная процедура Ирвина для отсеивания выбросов. В результате из исходного временного ряда был исключен ряд аномальных точек (выделены красным) с последующей их аппроксимацией с помощью параболической интерполяции, что видно на графике временного ряда (рис. 2).

Предложенная процедура построения эллипса на облаке точек участка временного ряда позволила достичь более адекватной имеющимся данным и точной оценки значения критерия, чем в исходной модели (рис. 3). Полученное значение критерия для участка 1 (рис. 2) $R_z = 0,261$ по сравнению с $R_z = 0,299$ в исходной модели [15] показывает, что модифицированная модель обеспечивает более жесткую оценку критерия.

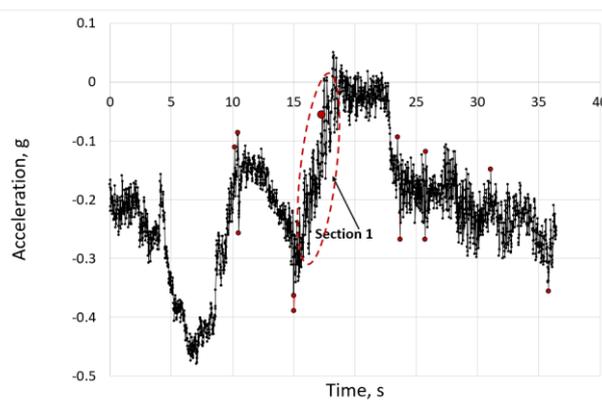


Рис. 2. Результат определения выбросов

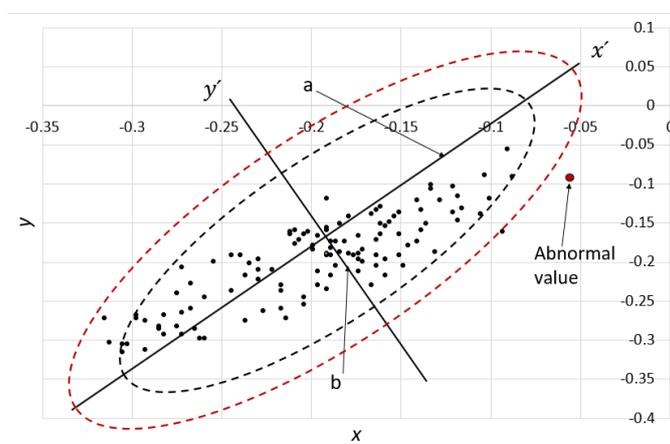


Рис. 3. Результат процесса формирования эллипса на облаке точек

На рис.3 красным выделена точка участка 1 исходного ряда, которая была идентифицирована как аномальная. Она не вошла в облако точек, на котором строился эллипс. Окончательный контур эллипса выделен красным цветом.

Заключение. Таким образом, в рамках предварительной подготовки данных предложена процедура выявления и отсеивания аномальных значений временного ряда параметра, основанная на модификации метода Ирвина.

Кроме того, представлена уточненная схема оценки значений критерия в модели классификации состояния параметра технического объекта. За критерий оценки взят коэффициент сжатия эллипса, который строится на облаке точек диаграммы рассеяния, вырезанных скользящим временным окном из временного ряда параметра. Для этого разработана итерационная процедура построения эллипса. Новая процедура обеспечивает более обоснованную и точную оценку критерия.

Модель позволит оценить в реальном времени возможность появления нештатной ситуации на ранней стадии ее развития. Процедура оценки может быть реализована в составе программно-аппаратных средств системы мониторинга технического объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стеблев Ю.И., Сусарев С.В., Быков Д.Е. Принципы проектирования автоматизированных систем диагностического мониторинга инженерных конструкций опасных производственных объектов // Российский журнал по неразрушающему контролю. – Апрель 2015. – Т. 51. – Вып. 4. – С. 185-197.

2. *Изергин Н.Д., Таров А.Г.* Оценка состояния технических объектов и их классификация методом парных сравнений // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Вып. 5. – С. 164-167.
3. *Randall R.B.* Vibration-Based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. – John Wiley & Sons, 2011. – 285 p.
4. *Клячкин В.Н., Карпунина И.Н.* Статистические методы оценки стабильности функционирования технических систем // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 36-42. – DOI: 10.21685/2307-4205-2018-2-5.
5. *Detlev W. Gross.* Partial Discharge Measurement and Monitoring on Rotating Machines // IEEE Int. Sym. on Elect. Insul, Boston MAUSA. – April 7-10, 2002. – P. 33-41.
6. *Vovk S.P., Ginis L.A.* Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems // European Researcher. – 2012. – Vol. (20), No. 5-1. – P. 541-545.
7. *Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалецкий А.В.* Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Изд-во «Советское радио», 1974. – 224 с.
8. *Chuan Li, René-Vinicio Sánchez, Grover Zurita, Mariela Cerrada, Diego Cabrera.* Fault Diagnosis for Rotating Machinery Using Vibration Measurement Deep Statistical Feature Learning // Sensors. – 2016. – 16 (6). – 895. – <https://doi.org/10.3390/s16060895>.
9. *Матушевски Дж.* Применение методов кластеризации для распознавания технических объектов // Современные проблемы радиотехники, телекоммуникаций и информатики (ТСSET). Международная конференция. – 2010. – С. 39-40.
10. *Лихуа С., Инцзюнь Г., Хайчао Р.* Новый метод ранней диагностики неисправностей в реальном времени для технических процессов // Сб. трудов. Международная конференция по электротехнике и управлению (ICECE), 2010, Ухань, Китай, 2010. – С. 4912-4915.
11. *Клевцов С.И.* Оценка скорости изменения параметра на основе анализа его временных рядов // 3-я Международная конференция IEEE по проблемам информатики, электроники и радиотехники (PIERE), Новосибирск, Российская Федерация, 2024. – DOI: 10.1109/PIERE62470.2024.10804947.
12. *Васильев В.В.* Современные проблемы компьютерного мониторинга в энергетике // Известия ТРТУ. – 2001. – Т. 3. – С. 99-120.
13. *Клевцов С.И.* Определение характера изменений параметра на основе анализа динамики формы совокупности его значений в реальном времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 46-55.
14. *Клевцов С.И.* Определение момента скачкообразного изменения быстропеременной физической величины в реальном времени с использованием диаграмм Пуанкаре // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5. – С. 108-113.
15. *Клевцов С.И.* Классификация степени изменения параметра в реальном времени на основе анализа облака точек временного ряда // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 80-91.
16. *Позолотин В.Е., Султанова Е.А.* Применение алгоритмов преобразования данных при анализе временных рядов на предмет устранения выбросов // Программные системы и вычислительные методы. – 2019. – № 2. – С. 33-42. – DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.28279. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=28279.
17. *Залаяжных В.В.* Расширение области применения критерия Ирвина при обнаружении аномальных измерений // Вестник СибГУТИ. – 2020. – № 2 – С. 95-104.
18. *Трофименко С.В., Трофименко С.В., Маршалов А.Я., Гриб Н.Н., Колодезников И.И.* Модификация метода Ирвина для выявления аномальных уровней временных рядов: методика и численные эксперименты // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15130> (дата обращения: 15.02.2025).
19. *Гуфельд И.Л., Гаврилов В.А., Корольков А.В. и Новоселов О.Н.* Эндогенная активность Земли и декомпрессионная модель сейсмического шума // Доклады Академии наук СССР. – 2008. – Т. 423, № 6. – С. 811-814.
20. *Новоселов О.Н.* Идентификация и анализ динамических систем: монография. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 424 с.

REFERENCES

1. *Steblev Yu.I., Susarev S.V., Bykov D.E.* Printsipy proektirovaniya avtomatizirovannykh sistem diagnosticheskogo monitoringa inzhenernykh konstruktсий opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov [Principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of engineering structures of hazardous industrial facilities], *Rossiyskiy zhurnal po nerazrushayushchemu kontrolyu* [Russian Journal of Non-Destructive Testing], April' 2015, Vol. 51, Issue 4, pp. 185-197.

2. *Izergin N.D., Tarov A.G.* Otsenka sostoyaniya tekhnicheskikh ob"ektov i ikh klassifikatsiya metodom parnykh sravneniy [Assessment of the state of technical objects and their classification by the method of paired comparisons], *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Tula State University. Technical sciences], 2017, Issue 5, pp. 164-167.
3. *Randall R.B.* Vibration-Based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. John Wiley & Sons, 2011, 285 p.
4. *Klyachkin V.N., Karpunina I.N.* Statisticheskie metody otsenki stabil'nosti funktsionirovaniya tekhnicheskikh sistem [Statistical methods for assessing the stability of functioning of technical systems], *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems], 2018, No. 2 (22), pp. 36-42. DOI: 10.21685/2307-4205-2018-2-5.
5. *Detlev W. Gross.* Partial Discharge Measurement and Monitoring on Rotating Machines, *IEEE Int. Sym. on Elect. Insul, Boston MAUSA*, April 7-10, 2002, pp. 33-41.
6. *Vovk S.P., Ginis L.A.* Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems, *European Researcher*, 2012, Vol. (20), No. 5-1, pp. 541-545.
7. *Gaskarov D.V., Golinkevich T.A., Mozgalevskiy A.V.* Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya i nadezhnosti radioelektronnoy apparatury [Forecasting the technical condition and reliability of electronic equipment]. Moscow: Izd-vo "Sovetskoe radio", 1974, 224 p.
8. *Chuan Li, René-Vinicio Sánchez, Grover Zurita, Mariela Cerrada, Diego Cabrera.* Fault Diagnosis for Rotating Machinery Using Vibration Measurement Deep Statistical Feature Learning, *Sensors*, 2016, 16 (6), 895. Available at: <https://doi.org/10.3390/s16060895>.
9. *Matushevski Dzh.* Primeneniye metodov klasterizatsii dlya raspoznavaniya tekhnicheskikh ob"ektov [Application of clustering methods for recognition of technical objects], *Sovremennyye problemy radiotekhniki, telekommunikatsiy i informatiki» (TCSET). Mezhdunarodnaya konferentsiya* [Modern problems of radio engineering, telecommunications and informatics" (TCSET). International conference], 2010, pp. 39-40.
10. *Likhua S., Intszyun' G., Khaychao R.* Novyy metod ranney diagnostiki neispravnostey v real'nom vremeni dlya tekhnicheskikh protsessov [A new method for early diagnostics of faults in real time for technical processes], *Sb. trudov. Mezhdunarodnaya konferentsiya po elektrotekhnike i upravleniyu (ICECE), 2010, Ukhan', Kitay, 2010* [Collection of works. International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010, Wuhan, China, 2010], pp. 4912-4915.
11. *Klevtsov S.I.* Otsenka skorosti izmeneniya parametra na osnove analiza ego vremennykh ryadov [Estimation of the rate of change of a parameter based on the analysis of its time series], *3-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya IEEE po problemam informatiki, elektroniki i radiotekhniki (PIERE), Novosibirsk, Rossiyskaya Federatsiya, 2024* [3rd IEEE International Conference on Informatics, Electronics, and Radio Engineering (PIERE), Novosibirsk, Russian Federation, 2024]. DOI: 10.1109/PIERE62470.2024.10804947.
12. *Vasil'ev V.V.* Sovremennyye problemy komp'yuternogo monitoringa v energetike [Modern problems of computer monitoring in energy], *Izvestiya TRTU [Izvestiya TSURE]*, 2001, Vol. 3, pp. 99-120.
13. *Klevtsov S.I.* Opredeleniye kharaktera izmeneniy parametra na osnove analiza dinamiki formy sovokupnosti ego znacheniy v real'nom vremeni [Determining the nature of parameter changes based on the dynamics of the shape of a set of its values in real time], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2020, No. 3, pp. 46-55.
14. *Klevtsov S.I.* Opredeleniye momenta skachkoobraznogo izmeneniya bystroperemennoy fizicheskoy velichiny v real'nom vremeni s ispol'zovaniem diagramm Puankare [Determining the moment of an abrupt change in a rapidly varying physical quantity in real time using Poincaré diagrams], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 5, pp. 108-113.
15. *Klevtsov S.I.* Klassifikatsiya stepeni izmeneniya parametra v real'nom vremeni na osnove analiza oblaka toчек vremennogo ryada [Classification of the degree of change of a parameter in real time based on the analysis of a point cloud of a time series], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2024, No. 4, pp. 80-91.
16. *Pozolotin V.E., Sultanova E.A.* Primeneniye algoritmov preobrazovaniya dannykh pri analize vremennykh ryadov na predmet ustraneniya vybrosov [Application of data transformation algorithms in the analysis of time series for the purpose of eliminating outliers], *Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody* [Software systems and computational methods], 2019, No. 2, pp. 33-42. DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.28279. Available at: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=28279.
17. *Zalyazhnykh V.V.* Rasshirenie oblasti primeneniya kriteriya Irvina pri obnaruzhenii anomal'nykh izmereniy [Expanding the scope of application of the Irwin criterion in detecting anomalous measurements], *Vestnik SibGUTI* [The Herald of the Siberian State University of Telecommunications and Information Science], 2020, No. 2, pp. 95-104.

18. Trofimenko S.V., Trofimenko S.V., Marshalov A.Ya., Grib N.N., Kolodeznikov I.I. Modifikatsiya metoda Irvina dlya vyyavleniya anomal'nykh urovney vremennykh ryadov: metodika i chislennye eksperimenty [Modification of the Irwin method for identifying anomalous levels of time series: methodology and numerical experiments], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, № 5. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15130> (accessed 15 February 2025).
19. Gufel'd I.L., Gavrilov V.A., Korol'kov A.V. i Novoselov O.N. Endogennaya aktivnost' Zemli i dekompressionnaya model' seysmicheskogo shuma [Endogenous activity of the Earth and decompression model of seismic noise], *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 2008, Vol. 423, No. 6, pp. 811-814.
20. Novoselov O.N. Identifikatsiya i analiz dinamicheskikh sistem: monografiya [Identification and analysis of dynamic systems: monograph]. 3rd ed. Moscow: GOU VPO MGUL, 2010, 424 p.

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

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

УДК 004.89

DOI 10.18522/2311-3103-2025-4-57-69

В.А. Частикова, А.С. Бахтин, П.А. Меркулов

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЦИИ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЫ ЦЕНТРА МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Показана важность интеграции больших языковых моделей (БЯМ) в процессы центров мониторинга информационной безопасности (SOC) для повышения их эффективности в условиях растущих киберугроз. Цель исследования – разработка методики интеграции БЯМ в SOC, направленной на автоматизацию процессов анализа данных и реагирования на инциденты. Задачи исследования включают теоретическое обоснование и разработку платформы для безопасного внедрения БЯМ, а также оценку существующих процессов и технической инфраструктуры SOC. В статье анализируются ключевые метрики эффективности работы SOC, такие как среднее время обнаружения инцидента и количество нерешенных инцидентов, и предлагается использование подхода GQM (Goal-Question-Metric) для разработки этих метрик. Рассматривается также необходимость оценки рисков, связанных с использованием БЯМ, с учетом уязвимостей и угроз, а также методов их минимизации, включая использование списка критических уязвимостей от OWASP. В статье предложены основные этапы разработки и внедрения системы, включая инвентаризацию существующих ресурсов, анализ сложности интеграции и развертывание системы. Рассматриваются ключевые аспекты, такие как оценка сложности интеграции, эксплуатационные и поддерживающие факторы, а также оценка рисков, связанных с внедрением новых технологий в инфраструктуру SOC. В заключение подчеркивается актуальность использования БЯМ для улучшения оперативности и качества работы SOC, что способствует повышению уровня информационной безопасности и ускорению реакции на киберугрозы. Внедрение таких технологий позволит SOC не только быстрее реагировать на инциденты, но и повысить точность анализа данных, снижая риски, связанные с человеческим фактором.

Автоматизация; инцидент; большая языковая модель; генеративный искусственный интеллект; центр мониторинга информационной безопасности.

V.A. Chastikova, A.S. Bahtin, P.A. Merkulov

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR INTEGRATING LARGE LANGUAGE MODELS INTO THE PROCESSES OF SECURITY OPERATIONS CENTERS

The article discusses the importance of integrating large language models (LLMs) into information security monitoring center processes (SOCs) to increase their effectiveness in dealing with growing cyber threats. The aim of the research is to develop a method for incorporating LLMs into SOC processes aimed at automating data analysis and incident response processes. The research goals include the theoretical justifica-