

УДК 681.3.062

С.И. Клевцов**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ЗОННОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ**

Задача построения модели предварительной прогнозной оценки работоспособности технического объекта имеет множество применений в области контроля различных опасных ситуаций. Необходимость опережающего мониторинга состояния технического объекта для предотвращения и управления протеканием нештатных ситуаций в целях их ликвидации с минимальными последствиями делает постановку и выполнение этой задачи актуальной и своевременной. Для выполнения прогнозной оценки состояния технического объекта целесообразно использовать простые модели, позволяющие получить результат в режиме реального времени без существенной нагрузки на микроконтроллерную систему управления. Исходной информацией для оценки являются результаты анализа данных о возможном в последующие моменты времени изменении параметров объекта. Для определения прогнозируемых значений параметров, а также прогнозируемой оценки состояния отдельных параметров технического объекта или их совокупности в реальном времени используются методы анализа и прогнозирования временных рядов. Рассматривается модель и алгоритм прогнозирования значений быстропеременной физической величины на основе использования многократного экспоненциального сглаживания ее временного ряда. Эффективность модели и алгоритма оценивается на основе обработки данных об изменении значений проекций вектора ускорения автомобиля, измеренных с помощью трехосевого акселерометра в реальных условиях движения. Определение уровня работоспособности технического объекта осуществляется с использованием модели зонной оценки состояния совокупности параметров. Предполагается, что имеются экспертные или опытные данные, позволяющие сформулировать и сопоставить состояния совокупности параметров с уровнями работоспособности объекта и формированием команд на ликвидацию или предотвращение возникающих нештатных и нестабильных ситуаций. Представлены обобщенные схемы многопараметрической идентификации состояний технического объекта на основе введения системы медианных линий, формирующих локальные зоны состояний. Предложена поэтапная схема реализации оценки уровня работоспособности технического объекта.

Идентификация; состояние; оценка; технический объект; параметр; микроконтроллер; классификация.

S.I. Klevtsov**PREDICTION PERFORMANCE TECHNICAL OBJECTS BASED
ON ASSESSMENT OF THE BAND CONTROLLED PARAMETERS**

The task of building predictive models of pre-health evaluation of the technical object has many uses in the control of various dangerous situations. The need for advanced condition monitoring of technical object to prevent and control the occurrence of abnormal situations in order to eliminate them with minimal impact statement and makes the task relevant and timely. To perform predictive assessment of the technical object is advisable to use simple models to get results in real time without a significant load on the microcontroller systems management. The initial information for the evaluation are the results of data analysis of the possible in the subsequent time you change the parameters of the object. To determine the projected parameter values, as well as predictable assessment of individual parameters of a technical object or a combination of real-time using the methods of analysis and forecasting of time series. The model and algorithm of the rapidly predict values of the physical quantity based on the use of multiple exponential smoothing her time series. The effectiveness of the model and the algorithm is evaluated on the basis of data on the changing values of the projections of the vector acceleration of a vehicle, measured by the three-axis accelerometer in real driving conditions. Determining the level of performance of a

technical object is carried out using the model of the band assessment of the set of parameters. It is assumed that there are expert and experienced data to formulate and compare the state of the set of parameters with the levels of performance of the object and the formation of teams to eliminate or prevent the resulting abnormal and unstable situations. The generalized scheme of multi-parameter identification of the technical state of the object based on the introduction of the median line, form the local area states. A phased scheme of the assessment of the level of efficiency of the technical object.

Identification; state; evaluation; technical object; parameter; microcontroller; classification.

Введение. Одной из важных составляющих решения проблемы безопасности эксплуатации сложного технического объекта и предотвращения аварийных ситуаций и техногенных катастроф является достоверная прогнозная оценка состояния объекта на некоторый временной интервал за пределами текущих измерений, например на один или несколько временных отсчетов, заданных для фиксации значений параметров с помощью датчиков [1, 2]. В диапазоне указанного горизонта прогнозирования возможные значения параметра объекта, вычисляемые с использованием принятой модели прогнозирования, сравниваются с границами установленной для параметра допустимой зоны, которая характеризует работоспособное состояние объекта. Если значение выходит за пределы нормальной зоны, то фиксируется возможность нештатной ситуации и должны быть реализованы действия, направленные на предотвращение возможного недопустимого изменения параметра и, следовательно, нарушения работоспособности объекта.

Для сложных технических объектов часто необходимо контролировать несколько параметров, причем с учетом их взаимозависимости [3, 4]. Это требует более сложных схем контроля работоспособности объекта, когда требуется система, также основанная на зонной оценке, но границы допустимых зон параметров коррелируются между собой и зависят от средних значений параметров.

Современное развитие и повсеместное внедрение систем мониторинга технических объектов, использование в их составе многофункциональных интеллектуальных микропроцессорных модулей для обработки данных, снимаемых с датчиков, делает возможным выполнение прогнозной оценки состояния в непосредственной близости к объекту, что обеспечивает высокую оперативность реакции на нештатные ситуации [5–9].

Поскольку интеллектуальный микропроцессорный модуль, как правило, имеет несколько каналов ввода данных и способен снимать и обрабатывать несколько параметров объекта, его можно использовать для оценки совокупности параметров. Если эта совокупность параметров определяет функционирование составной части или объекта в целом, то осуществляемая на базе модуля оценка совокупности параметров в результате даст оценку прогнозируемого состояния объекта или его составной части.

Для предварительной прогнозной оценки состояния технического объекта целесообразно использование простых моделей, построенных на основе приближенных функциональных зависимостей между переменными объекта, которые могут быть получены как в результате упрощения сложных математических соотношений, представляющих решения интегродифференциальных уравнений [5, 6], так и в результате выявления и анализа экспертных и опытных знаний и данных [7–9]. Часто такая оценка является достаточной для прогнозирования и предотвращения нештатных и аварийных ситуаций. То, что оценка и меры по предотвращению нештатных и аварийных ситуаций реализуются на нижнем уровне системы мониторинга, обеспечивает высокую динамику реакции на эти ситуации и, как следствие, повышение эффективности системы мониторинга.

Постановка задачи. В работе рассматривается построение адаптированной к возможностям микроконтроллерной обработки информации модели предварительной прогнозной оценки работоспособности технического объекта на основе анализа данных о возможном в последующие моменты времени изменении его параметров. Модель базируется на зонной оценке состояния параметра с использованием временных рядов для определения прогнозных значений параметров. Предполагается, что имеются экспертные или опытные данные, позволяющие сформулировать и сопоставить состояния совокупности параметров с уровнями работоспособности объекта и формированием команд на ликвидацию или предотвращение возникающих нештатных и нестабильных ситуаций.

Использование временных рядов для прогнозирования изменения параметров. В основе модели лежит параметрическое представление технического объекта. Как было сказано выше, для выполнения прогнозной оценки значений параметров технического объекта целесообразно использовать простые модели, позволяющие получить результат в режиме реального времени без существенной нагрузки на микроконтроллерную систему управления объектом [10, 11]. В связи с этим предлагается использовать модель и алгоритм прогнозирования значений быстропеременной физической величины на основе использования многократного экспоненциального сглаживания ее временного ряда [12, 13].

При построении алгоритма прогнозирования на основе модели многократного экспоненциального сглаживания временного ряда предполагалось, что шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим, таким, что изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов будет незначительным. Это позволит повысить точность прогнозирования.

Пусть значения контролируемого параметра технического объекта $y(t)$ измеряются микроконтроллерным модулем в дискретные моменты времени с постоянным шагом h . В результате получим массив $Y = \{y_i\}_{i=0}^n$ измеренных значений параметра $y_i = y(t_i)$ в точках t_0, t_1, \dots, t_n ; $t_i = t_{i-1} + h$. Необходимо определить значение параметра y в точках $T + kh$, $k = 1, K$, где T – текущее значение времени, относительно которого делается прогноз на k - шагов или на промежуток времени $\tau = kh$, называемый временем упреждения [13], а K – число, определяющее диапазон прогнозирования.

В качестве прогнозирующего ряда использовалась модель сглаживающего временного ряда первой степени вида [12, 13]

$$y(t) = a_1 + a_2 t, \quad (1)$$

характеризующаяся низкой сложностью и обладающая хорошими адаптивными свойствами.

Тогда прогнозное значение y в точках $T + \tau$:

$$\tilde{y}(T + \tau) = (2 + \frac{\alpha}{\beta} \tau) S_T - (1 + \frac{\alpha}{\beta} \tau) S_T^{[2]}, \quad (2)$$

где S_T и $S_T^{[2]}$ – экспоненциальные средние, которые определяются на момент T по формулам

$$S_T = \alpha y_T + \beta S_{T-1}, \quad S_T^{[2]} = \alpha S_T + \beta S_{T-1}^{[2]}, \quad (3)$$

где α – постоянная сглаживания, которую необходимо подбирать, $\beta = 1 - \alpha$.

Для того чтобы запустить процесс расчета, необходимо задать начальные значения S_0 и $S_0^{[2]}$:

$$S_0 = \bar{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0}, \quad S_0^{[2]} = \bar{a}_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0} \quad (4)$$

Здесь $\bar{a}_{1,0}$ и $\bar{a}_{2,0}$ – начальные оценки коэффициентов a_1 и a_2 в (1).

В качестве исходной информации рассматривались данные акселерометра, установленного на автомобиле. Зависимость ускорения от времени представляет собой быстроизменяющуюся знакопеременную функцию с существенным разбросом значений. Шаг съема данных составлял $h=0,015625$ с.

Процедура прогнозирования непрерывной функции с использованием сглаживающего временного ряда согласно [7, 13] выполнялась с учетом периода адаптации, который зависит от точности задания начальных оценок коэффициентов аппроксимации $\bar{a}_{1,0}$ и $\bar{a}_{2,0}$ в выражении (1). Характерно [13], что неточное задание начального приближения коэффициентов a_1 и a_2 влияет только на длительность участка адаптации и форму прогнозирующей зависимости $\tilde{y}(t)$ на этом участке и практически не влияет на погрешность прогнозирования за его пределами.

Для прогнозирования параметра с наименьшей погрешностью, достижимой для этого ряда, постоянная сглаживания выбиралась в соответствии с сформулированными ранее рекомендациями [13]. На участках с резким ростом контролируемого параметра меньшую погрешность прогнозирования дает модель с высоким значением постоянной сглаживания и, наоборот, в случае небольших колебаний параметра снижение погрешности прогнозирования связано с уменьшением постоянной сглаживания. Результаты прогнозирования для различных τ , где $\tau = kh$ – время упреждения, при постоянной сглаживания $\alpha=0,35$ представлены на рис. 1.

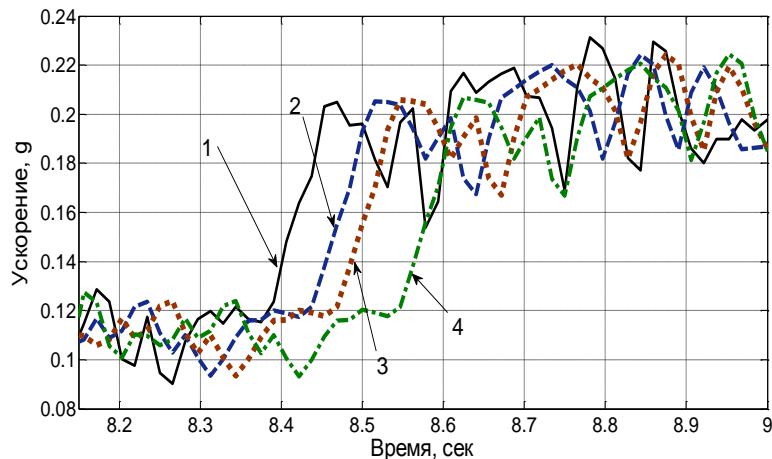


Рис. 1. Результаты прогнозирования при $\alpha=0,35$ и различных значениях τ : график 1 – экспериментальная зависимость ускорения от времени; график 2 – прогноз для $\tau = 3h$; график 3 – для $\tau = 5h$; график 4 – для $\tau = 10h$

Анализ результатов моделирования показал, что графики прогноза для различных значений времени упреждения в целом повторяют форму экспериментальной кривой с запаздыванием, которое тем больше, чем больше значение времени упреждения. Для участков с длительным по времени (более 4–5h) ростом или уменьшением ускорения, например, для участка, определяемого временным интервалом от 8,4 до 8,5 с (рис. 1), время запаздывания прогноза пропорционально времени упреждения (рис. 2).

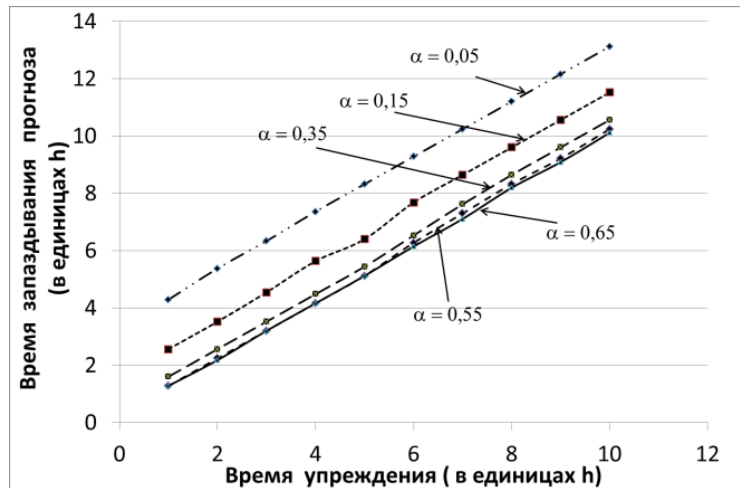


Рис. 2. Зависимость времени запаздывания прогноза от времени упреждения в единицах h при различных значениях постоянной сглаживания

Погрешности прогнозирования на участках с длительным по времени ростом или уменьшением ускорения максимальны для графика, соответствующего $\tau = 10h$, а на участках с незначительно меняющимся трендом погрешности прогнозирования для того же графика в целом меньше по сравнению с другими прогнозирующими кривыми, соответствующими $\tau < 10h$ (рис. 3).

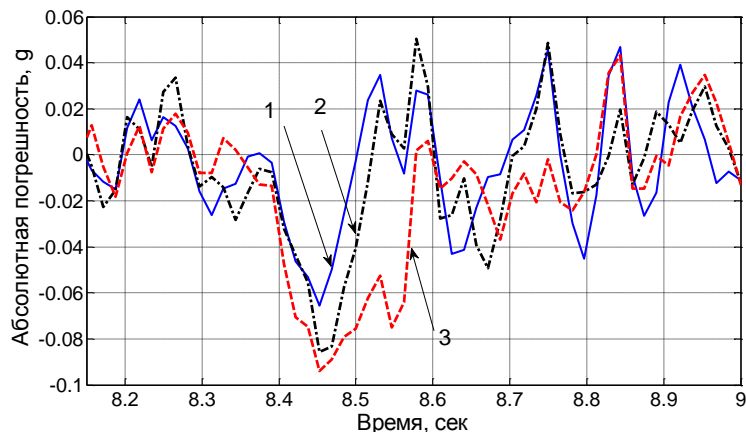


Рис. 3. Погрешности прогнозирования при $\alpha=0,35$ и различных значениях τ : график 1 – прогноз для $\tau = 3h$; график 2 – прогноз для $\tau = 5h$; график 3 – прогноз для $\tau = 10h$

Следует отметить, что время запаздывания прогноза уменьшается с увеличением постоянной сглаживания α . Однако использование $\alpha > 0,5 - 0,55$ для снижения времени запаздывания не эффективно (рис. 4).

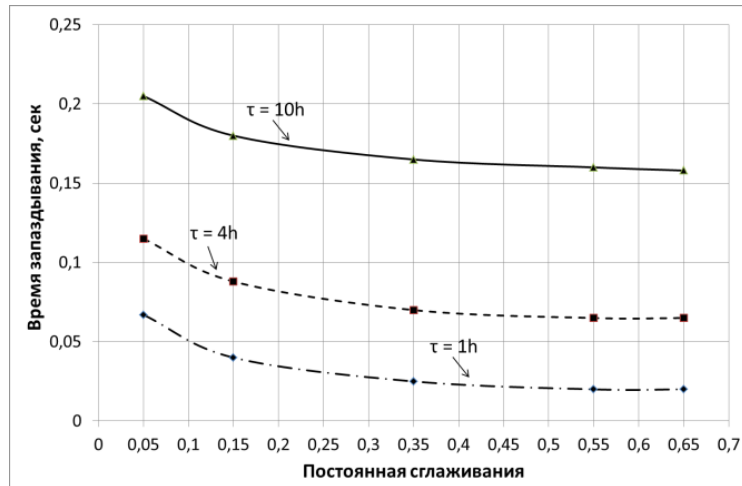


Рис. 4. Зависимость времени запаздывания прогноза от постоянной сглаживания при различных значениях времени упреждения

Использование зонной оценки состояния работоспособности объекта.

При решении задачи оценки работоспособности объекта в реальном времени необходимо соотнести имеющиеся фиксированные в конкретный момент или промежуток времени совокупности параметров объекта к определенным классам, характеризующим соответствующий уровень работоспособности. Наиболее используемым является способ, когда совокупность параметров представляется в виде вектора [7, 8]. Компонентами вектора являются значения параметров, фиксируемых датчиками [14, 15]. Следовательно, имеем N -мерное пространство, которое часто называют пространством входов, размерность пространства равно количеству компонент вектора. Используемая модель классификатора должна на основе ранее полученной предварительной информации в виде вектора N -мерного пространства определить, к какому классу необходимо отнести данную совокупность параметров, представленную в виде компонент вектора или, иначе, к какому классу состояний отнести текущее параметрическое представление объекта. Предположим, что совокупность подмножеств значений параметров объекта, составляющая классификацию состояний, такова, что подмножества не пересекаются. Каждое подмножество определяет класс состояния в системе классификации. Предлагается использовать модель, представленную в [16, 17].

Если работоспособность объекта характеризуют N -параметров, $n=1, \dots, N$, где A_n – n -й параметр объекта, то каждый A_n параметр может в процессе рабочего функционирования объекта изменяться в диапазоне значений $[D_{n\min}^{(n)}, D_{n\max}^{(n)}]$, где $[D_{n\min}^{(n)}]$ – минимальное значение параметра, $[D_{n\max}^{(n)}]$ – максимальное значение параметра. Индекс n под символом D означает, что нижняя или верхняя граница диапазона относится к нормальной зоне изменения параметра. Можно также выделить зоны (нижнюю и верхнюю) опасного изменения параметра, а также зоны (нижнюю и верхнюю) аварийного изменения параметра [7, 8, 16, 17]. Возможно более подробное деление на зоны диапазона изменения параметра.

Поскольку имеется несколько определяющих состояние параметров, то при оценке необходимо учитывать взаимные связи и взаимовлияние этих параметров. При отслеживании изменения состояния важно зафиксировать переход от одного состояния в другое. Для этого проводится классификация состояний, заключающаяся в том, что задаются для каждого из состояний значения диапазонов изменения параметров. Для идентификации изменения состояния тогда достаточно вычленил факт перехода от одного состояния в другое. При этом временной интервал, определяющий промежуток времени между двумя соседними моментами, когда производится оценка состояния объекта, не может быть меньше шага съема информации с датчиков физических величин, с помощью которых контролируется объект.

Определим для параметра A_n некий функционал, определяющий среднюю, медианную линию. Разброс значений параметра относительно этой линии, укладывающийся в заранее определенный диапазон, означает, что параметр в зоне конкретного состояния, которое определяется данной линией. Компонентами

функционала являются \bar{a}_n – среднее, медианное значение параметра; a_n – текущее значение параметра; $S_k^{(n)}$ – идентификатор состояния; $\Delta a_k^{(n)}$ – диапазон отклонений a_n от \bar{a}_n , при котором по параметру A_n оценка состояния равна $S_k^{(n)}$; k – порядковый номер идентификатора состояния $S_k^{(n)}$; n – порядковый номер параметра; V – массив факторов, влияющих на состояние, $V = \{V_l\}_{l=1}^L$, l – номер фактора. Обозначение (n) означает принадлежность к параметру A_n . Компоненты функционала \bar{a}_n , a_n , $\Delta a_k^{(n)}$ и $S_k^{(n)}$ зависят от факторов V_l .

В качестве факторов V , влияющих на оценку, могут рассматриваться другие параметры контролируемого объекта, а также внешние и внутренние дестабилизирующие факторы среды функционирования объекта, например, температура и давление внешней среды, магнитные и электрические поля и др.

Упрощенная схема, поясняющая возможную зависимость для конкретного k -го состояния объекта $S_k^{(n)}$, представлена на рис. 5.

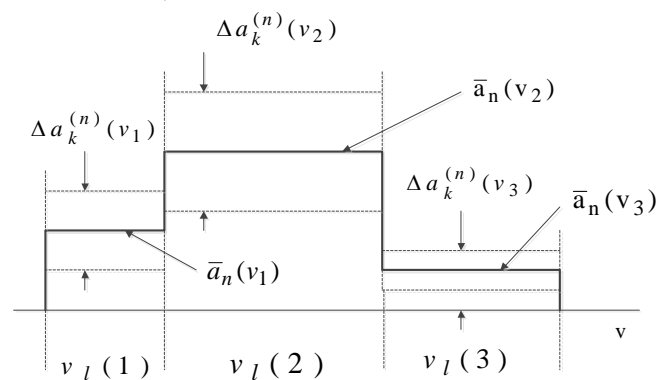


Рис. 5. Упрощенная схема зависимости значения \bar{a}_n и $\Delta a_k^{(n)}$ от фактора v_l при заданном $S_k^{(n)}$

На рис. 5 представлена упрощенная модель. Предполагается, что фактор V_i дискретно меняет свои значения за очень короткое время.

Аналогично можно построить упрощенную схему распределения медианных значений параметров для произвольного состояния $S_k^{(n)}$ с учетом взаимовлияния параметров и факторов.

Таким образом, существует несколько конфигураций медианных значений \bar{a}_n параметров A_n , которые в совокупности определяют одно состояние S_k контролируемого объекта. Любая зафиксированная конфигурация из совокупности идентифицирует состояние S_k .

Для фиксации, например, первой конфигурации, текущее значение a_1 параметра A_1 должно соответствовать условию:

$$\bar{a}_{i1} - \Delta a_{i1} \leq a_1 \leq \bar{a}_{i1} + \Delta a_{i1}. \quad (2)$$

Соответственно, значение a_i параметра A_i условию

$$\bar{a}_{i1} - \Delta a_{i1} \leq a_i \leq \bar{a}_{i1} + \Delta a_{i1}. \quad (3)$$

Это означает, что текущее значение каждого a_i должно быть ближе к \bar{a}_{i1} , чем к \bar{a}_{i2} , поскольку \bar{a}_{i2} входит в другую конфигурацию

$$|a_i - \bar{a}_{i1}| < |a_i - \bar{a}_{i2}|, \quad (4)$$

для любого i .

Проверка часто осуществляется с помощью оценки модуля разности между текущим значением и медианным. В этом случае возможна погрешность при отслеживании изменения состояния.

На рис. 6 представлена подобная ситуация, когда оценка по критериям (2), (3) дает неоднозначный результат. В случае, приведенном на рис. 6, третья конфигурация состояния S_1 , которая конкурирует с первой конфигурацией состояния S_2 . Для обеих конфигураций критерии (2) и (3) верны. По критерию (4) третья конфигурация предпочтительнее, поскольку проигрывает первой S_2 только по параметру A_1 .

Очевидно, что для идентификации состояния необходима разработка модели и алгоритма, определяющих интегральную близость текущих значений параметров A_n к их медианным значениям в рамках различных конфигураций состояний и ранжирующих конфигурации по степени интегральной близости на основе нейронных сетей и других методов [18–22].

Схема реализации процесса прогнозирования уровня работоспособности технического объекта. Исследования особенностей модели позволили синтезировать обобщенную схему реализации модели прогнозирования.

Первый этап заключается в определении значений параметров объекта в дискретные моменты времени, следующие за текущим.

1. В соответствии с соотношением (1) определяются начальные оценки $\bar{a}_{1,0}$ и $\bar{a}_{2,0}$ значений коэффициентов a_1 и a_2 . Для этого используются значения параметра $y_0(t_0)$ и $y_1(t_1)$, зафиксированные на начальном этапе настройки модели прогнозирования.

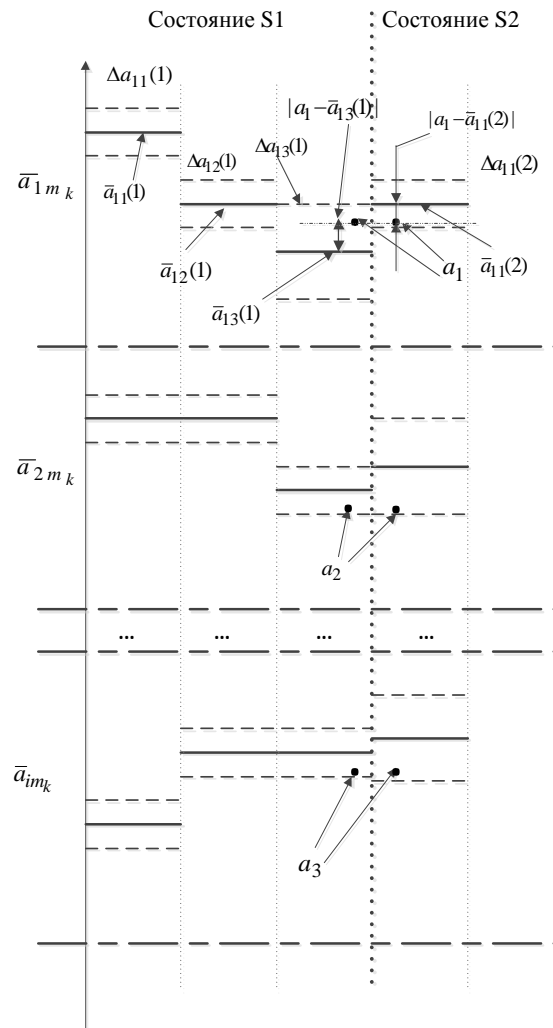


Рис. 6. Упрощенная структура конфигураций медианных значений \bar{a}_n параметров A_n для двух конкурирующих состояний S_1 и S_2

2. Устанавливается начальное значение постоянной сглаживания из диапазона $[0,15 \dots 0,25]$. Величина α , выбранная из указанного диапазона, может служить точкой отсчета для подбора наиболее подходящего значения α с точки зрения дальнейшей минимизации погрешности прогнозирования контролируемого параметра y в процессе настройки модели.
3. После определения α , $\bar{a}_{1,0}$ и $\bar{a}_{2,0}$ вычисляются S_0 и $S_0^{[2]}$ по формуле (4).
4. Для каждого $T \in [t_2, t_3, \dots, t_n]$ при фиксированном α выполняется прогнозирование на время упреждения τ , т.е. прогнозирование на момент времени $T + \tau$. Прогнозное значение $\tilde{y}(T + \tau)$ вычисляется

по формулам (3) и (2) соответственно. В процессе прогнозирования выделяется участок адаптации, когда прогнозируемое значение $\tilde{y}(T + \tau)$ значительно отличается от измеряемых значений $y(T + \tau)$. Участок прогнозирования и, соответственно, окончание участка адаптации можно определить по поведению прогнозирующей кривой, которая на этом участке стремится приблизиться к зависимости $y(T + \tau)$. При этом погрешности прогнозирования в среднем практически не меняются или меняются достаточно медленно по сравнению с динамикой, фиксируемой на участке адаптации.

5. После определения участка прогнозирования необходимо минимизировать погрешности прогнозирования с помощью изменения параметра сглаживания α . Увеличивая или уменьшая α , в зависимости от предполагаемой динамики изменения зависимости $y(T)$, определим минимальное (ориентировочно) значение погрешности на участке прогнозирования. Параметр сглаживания α необходимо уменьшать, если прогнозируется медленно меняющаяся зависимость, и увеличивать в противном случае. Полученное значение α может быть использовано для дальнейшего прогнозирования значений $y(T)$ с помощью модели сглаживающего временного ряда $\tilde{y}(T)$.

Второй этап заключается в сопоставлении полученных прогнозных значений параметров объекта одной из зонных диаграмм распределения медианных значений параметров и последующей идентификации уровня работоспособности технического объекта.

1. Полученные прогнозные значения параметров используются для определения модуля разности между текущим значением и медианными значениями зонных диаграмм. В результате получаем для каждой зонной диаграммы набор модулей.
2. Сравнивая значения модулей для различных зонных диаграмм и учитывая приоритет параметров, можно определить наиболее предпочтительную зонную диаграмму и, соответственно, идентифицировать уровень работоспособности технического объекта.

Выводы. Таким образом, разработана модель и алгоритм краткосрочного прогнозирования изменения быстроизменяющейся физической величины, характеризующей состояние технического объекта. Определены особенности настройки и использования модели, в частности, для обеспечения хорошей точности прогнозирования необходимо выбрать постоянную сглаживания, соответствующую динамике прогнозируемого процесса, для устранения или максимального сокращения участка адаптации временного ряда и расширения участка прогнозирования следует точно задавать начальные значения коэффициентов аппроксимации исходной зависимости. Также определены ограничения модели.

Приведенные соотношения и схема краткосрочного прогнозирования ориентированы на выполнение обработки данных в микроконтроллере микропроцессорного модуля в реальном времени. Моделирование показало эффективность предлагаемого подхода к прогнозированию изменения параметров объекта. Результаты работы могут быть полезны при разработке программно-алгоритмических средств систем мониторинга и обеспечения безопасности технических, например, систем активной безопасности и инерциальной навигации автомобиля.

Таким образом, разработаны подход и обобщенные схемы многопараметрической идентификации состояний технического объекта на основе введения системы медианных линий, формирующих локальные зоны состояний. Подход формирует платформу для разработки моделей, в частности, моделей нейронных сетей, ориентированных на идентификацию технических объектов на основе данных датчиков физических величин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клевцова А.Б., Клевцов Г.С.* Модели параметрической экспресс-оценки состояния технического объекта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 11 (88). – С. 15-19.
2. *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.
3. *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.
4. *Клевцов С.И., Клевцова А.Б., Буринов С.В.* Модель параметрической качественной иерархической оценки состояния технической системы // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088.
5. *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.
6. *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, 2010. – Wuhan, China. – P. 4912-4915.
7. *Клевцов С.И.* Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 43-48.
8. *Клевцова А.Б.* Интегральная оценка состояния объекта мониторинга // Известия ТРТУ. – 2004. – № 2 (37). – С. 58-65.
9. *Клевцов С.И.* Прогнозирование изменения состояния совокупности параметров технического объекта с помощью интеллектуального микропроцессорного модуля // Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС)»: Сб. трудов. – 2010. – № 1. – С. 619-623.
10. *Клевцов С.И.* Прогнозирование изменений физической величины в реальном времени с использованием линейного адаптивного фильтра // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 180-185.
11. *Клевцов С.И.* Отслеживание изменения состояния динамического объекта в реальном времени с использованием микропроцессорного модуля // Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС)»: Сб. трудов. – 2012. – № 1. – С. 684-687.
12. *Лукашин Ю.П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
13. *Клевцов С.И.* Моделирование алгоритма краткосрочного прогнозирования изменения быстроменяющейся физической величины в реальном времени // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3 (21). – С. 199-205.
14. *Ярошенко И.В.* Математическая модель и метод классификации технического состояния высоковольтных мехатронных модулей // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2330.
15. *Евтихийев Н.Н., Карп В.П., Пудова Н.В.* Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и оптимизации управления в сложно организованных динамических объектах // Приборы и системы управления. – 1996. – № 3. – С. 35-40.
16. *Клевцова А.Б.* Параметрическая зонная оценка состояния технического объекта с использованием режимной карты // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 107-111.
17. *Клевцова А.Б.* Алгоритм оценки и прогнозирования поведения переменной состояния объекта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2006. – № 5 (60). – С. 133-139.

18. Lipman R. An introduction to computing with neural nets // IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine. – 1987. – No. 2. – P. 4-22.
19. Борисов Е.С. Классификатор на основе нейронной сети Хемминга. <http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-hamming-classifier.html>.
20. Raus M., Ameling W. A layered information processing model for neural classification modules // Intelligent Systems Engineering, Second International Conference. – 1994. – Hamburg-Harburg, IET. – P. 144-153.
21. Gartner K.-P., Holzhausen K.-P., Kruger W., Pitrella, F.D., Wolf H. Identification of field objects in reduced quality TV pictures transmitted from telerobots to a remote control station // Intelligent Robots and Systems '93, IROS '93. Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference. – 1993. – Vol. 3. – P. 1479-1486.
22. Box, George E.P., Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel. Time series analysis : forecasting and control. – 4th ed. – A John Wiley & Sons, INC., Publication, 2015. – 712 p.

REFERENCES

1. Klevtsova A.B., Klevtsov G.S. Modeli parametriceskoy ekspress-otsenki sostoyaniya tekhnicheskogo ob"ekta [Parametric models for the rapid assessment of the condition of a technical object], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 11 (88), pp. 15-19.
2. 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.
3. 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.
4. Klevtsov S.I., Klevtsova A.B., Burinov S.V. Model' parametriceskoy kachestvennoy ierarkhicheskoy otsenki sostoyaniya tekhnicheskoy sistemy [A parametric hierarchical model for quality assessment of the state of technical systems], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2015, No. 3. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088>.
5. 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.
6. 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*, 2010. Wuhan, China, pp. 4912-4915.
7. Klevtsov S.I. Predvaritel'naya otsenka sostoyaniya sovokupnosti parametrov tekhnicheskogo ob"ekta s ispol'zovaniem intellektual'nogo mikroprotsessornogo modulya [The simplified estimation of the condition for set of parameters of technical object with use of the intellectual microprocessor module], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 5 (106), pp. 43-48.
8. Klevtsova A.B. Integral'naya otsenka sostoyaniya ob"ekta monitoringa [Integrated assessment of the state of the monitoring object], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURe], 2004, No. 2 (37), pp. 58-65.
9. Klevtsov S.I. Prognozirovaniye izmeneniya sostoyaniya sovokupnosti parametrov tekhnicheskogo ob"ekta s pomoshch'yu intellektual'nogo mikroprotsessornogo modulya [Forecasting changes to the state of all parameters of technical object using the intellectual microprocessor module], *Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem (MES)»: Sbornik trudov* [all-Russian centre of scientific-technical conference "problems of development of perspective micro- and nanoelectronic systems (MES)": Collection of papers], 2010, No. 1, pp. 619-623.
10. Klevtsov S.I. Prognozirovaniye izmeneniy fizicheskoy velichiny v real'nom vremeni s ispol'zovaniem lineynogo adaptivnogo fil'tra [Forecasting of changes of size physical in real time with use of the linear adaptive filter], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 5 (142), pp. 180-185.

11. Klevtsov S.I. Otslezhivanie izmeneniya sostoyaniya dinamicheskogo ob"ekta v real'nom vremeni s ispol'zovaniem mikroprotssessornogo modulya [Tracking state changes of the dynamic object in real time using microprocessor module], *Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem (MES)»: Sbornik trudov* [all-Russian scientific-technical conference "problems of development of perspective micro- and nanoelec-throne systems (MES)": Collection of papers], 2012, No. 1, pp. 684-687.
12. Lukashin Yu.P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov [Adaptive methods of short-term forecasting of time series]. Moscow: Finansy i statistika, 2003, 416 p.
13. Klevtsov S.I. Modelirovanie algoritma kratkosrochnogo prognozirovaniya izmeneniya bystromenyayushchey fizicheskoy velichiny v real'nom vremeni [Modeling of algorithm of short-term forecasting fast-changing physical size in real time], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2012, No. 3 (21), pp. 199-205.
14. Yaroshenko I.V. Matematicheskaya model' i metod klassifikatsii tekhnicheskogo sostoyaniya vysokovol'tnykh mekhatronnykh moduley [The mathematical model and the classification method of the technical condition of mechatronic modules high voltage], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2014, No. 2. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2330.
15. Evtikhiev N.N., Karp V.P., Pudova N.V. Intellektual'nye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy i optimizatsii upravleniya v slozhno organizovannykh dinamicheskikh ob"ektakh [Intellectual systems of decision support and optimization control of complex dynamic objects], *Pribory i sistemy upravleniya* [Devices and Control Systems], 1996, No. 3, pp. 35-40.
16. Klevtsova A.B. Parametricheskaya zonnaya otsenka sostoyaniya tekhnicheskogo ob"ekta s ispol'zovaniem rezhimnoy karty [Parametrical band model of the estimation condition for technical object with use of the regime card], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 5 (106), pp. 107-111.
17. Klevtsova A.B. Algoritm otsenki i prognozirovaniya povedeniya peremennoy sostoyaniya ob"ekta [The algorithm of estimation and prediction of the behavior of the state variable of the object], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSUR], 2006, No. 5 (60), pp. 133-139.
18. Lipman R. An introduction to computing with neural nets, *IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine*, 1987, No. 2, pp. 4-22.
19. Borisov E.S. Klassifikator na osnove neyronnoy seti Khemminga [The classifier based on neural network Hamming]. Available at: <http://www.http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-hamming-classifier.html>.
20. Raus M., Ameling W. A layered information processing model for neural classification modules, *Intelligent Systems Engineering, Second International Conference, 1994*. Hamburg-Harburg, IET, pp. 144-153.
21. Gartner K.-P., Holzhausen K.-P., Kruger W., Pitrella, F.D., Wolf H. Identification of field objects in reduced quality TV pictures transmitted from telerobots to a remote control station, *Intelligent Robots and Systems '93, IROS '93. Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference*, 1993, Vol. 3, pp. 1479-1486.
22. Box, George E.P., Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel. Time series analysis: forecasting and control. 4th ed. A John Wiley & Sons, INC., Publication, 2015, 712 p.

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, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328025; cand. of eng. sc.; associate professor.