

УДК 681.518.5 + 519.711.3

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОГО ОТКАЗА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Некрасов И.В.¹, Константиновский Ю.Д.², Кукин Н.С.³

¹ИПУ РАН им.В.А.Трапезникова, г. Москва, ivannekr@mail.ru

²МГТУ им.Н.Э.Баумана, г. Москва

³АНО «Институт инженерной физики», г. Серпухов

Ключевые слова: предиктивная диагностика, нейронная сеть, обучающая выборка, исторические данные, аварийная ситуация, предаварийное состояние, время развития отказа, вероятность пропуска аварии, вероятность ложной тревоги.

В настоящее время в промышленности большое распространение получили так называемые системы предиктивной диагностики оборудования [1], принцип работы которых основан на анализе фактических измерений технологических параметров объекта и классификации его текущего состояния как «нормальное» или «аварийное» («предаварийное»). Несмотря на многообразие применяемых подходов и расчетных методов [2, 3], общими проблемными местами подобных систем остаются всевозможные настроечные параметры, значения которых, как правило, задаются экспертно. Варьирование настроечных параметров может значительно изменить область применимости выбранного метода диагностики как в сторону улучшения точности результатов расчета, так и в сторону потери адекватности получаемого результата. В настоящей работе предложена комплексная методика формализации, оценки и оптимизации качества работы алгоритмов предиктивной диагностики.

В качестве меры качества приняты классические величины вероятности пропуска аварийной ситуации P_1 и вероятности ложной тревоги P_2 , характеризующие любую систему обнаружения [4]. В ходе исследований выделен один из основных фундаментальных параметров, влияющих на указанные вероятности, а именно принятое «время развития аварийной ситуации» T_{dev} , определяющее скользящее временное окно анализа истории измерения параметров. В частности, при исследовании нейросетевого алгоритма обнаружения аварийной ситуации на реальном объекте типа «центробежный насос», авторы получили зависимости вероятности пропуска аварии и вероятности ложной тревоги от T_{dev} , представленные на рис. 1 и рис. 2, соответственно.

Следует заметить, что для исследуемых нейросетевых алгоритмов диагностики величина T_{dev} представляет собой ничто иное, как ширину коридора выборки исторических данных измерений технологических параметров, которые предшествуют фактически зафиксированным отказам и используются для обучения нейросети на признак «авария» (см. рис. 3).

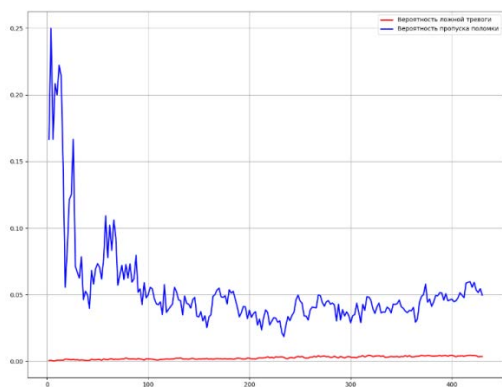


Рис.1. Вероятность пропуска аварийной ситуации

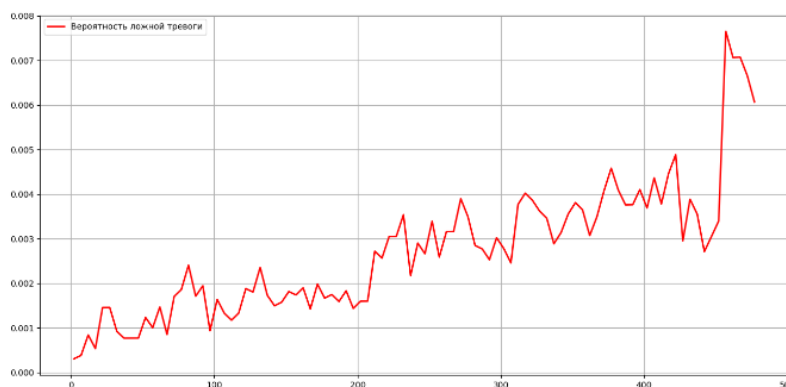


Рис.2. Вероятность ложной тревоги по аварийной ситуации

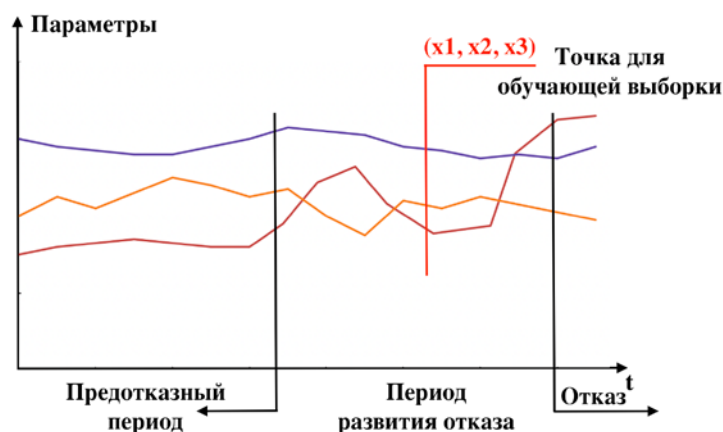


Рис.3. Точки выборки исторических измерений для обучения нейронной сети на признак «авария»

Как видно из графиков рис. 1 и рис. 2, обучении нейросети исключительно на точках фактических отказов дает высокий (до 25% на рис.1) показатель пропуска аварийной ситуации P_1 . По мере включения большего количества точек состояния, предшествующих во времени событию отказа, вероятность пропуска аварии P_1 снижается до некоторого минимума, затем начинает повторный рост. При этом вероятность ложной тревоги повышается практически линейно. Исследования показали, что точка минимума P_1 соответствует наилучшей аппроксимации T_{dev}^* , когда в обучающую выборку попадают все точки, соответствующие развитию отказа. При уменьшении $T_{dev} < T_{dev}^*$ модель остается недообученной по развитию отказов, что является причиной высокой вероятности пропуска аварии P_1 . Увеличение $T_{dev} > T_{dev}^*$ приводит к захвату в предаварийную обучающую выборку точек нормального состояния и, в конечном итоге, приводит к резкому увеличению ложной тревоги P_2 вследствие неверной работы классификатора [5].

Список литературы

1. Исмагилов Ф.Р., Пашали Д.Ю., Юшкова О.А. Обзор систем предиктивной диагностики электрооборудования // Электротехнические комплексы и системы. Международная научно-практическая конференция, Уфа: 2021. С.49-54.
2. S. Butler. Prognostic algorithms for condition monitoring and remaining useful life estimation. PhD. Thesis, National University of Ireland, Maynooth, 2012p.

3. I. Nekrasov. Balancing Mathematical Methods and Expert Knowledge in Industrial Equipment Failures Prediction Systems // “Diagnosing and Predicting Technical State of Electric Power-Plants Equipment” Conference. – All-Russia Thermal Engineering Institute, Moscow, Russia, 2020, pp.55-62.

4. Васильев К.К. Методы обработки сигналов: Учебное пособие. – Ульяновский Государственный Технический Университет. Ульяновск: 2001. 80с. (С.57–63).

5. I. Nekrasov, Yu. Konstantinovskij, N. Kukin. Predictive Diagnostics of Power Generating Equipment Failures Based on Neural Network Technology // 5th International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT'2024). Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" – принято к публикации. (<https://events.etu.ru/#/application/8096/info> - требуется авторизация)

Сведения об авторах

Некрасов И.В., к.т.н., с.н.с. ИПУ РАН. Область научных интересов: предиктивная диагностика, анализ данных, планирование производства, оптимальное управление предприятием.

Константиновский Ю.Д., студент МГТУ им.Н.Э.Баумана. Область научных интересов: обработка данных, нейронные сети.

Кукин Н.С., к.т.н., начальник группы АНО ИИФ. Область научных интересов: обработка данных, фильтрация, экстраполяция.

METHOD FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT FAILURE DEVELOPMENT TIME DETECTION

Nekrasov I.V.¹, Konstantinovskij Yu.D.², Kukin N.S.³

¹V.A.Trapeznikov ICS RAS, Moscow, Russia, ivannekr@mail.ru

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow

³ Autonomous Non-Profit Organization “Institute of Engineering Physics”, Serpukhov

Keywords: predictive diagnostics, neural network, training dataset, historical data, emergency alarm, pre-emergency status, failure development time, failure missing probability, false alarm probability.

At present we can observe the extensive development and expansion of so-called predictive diagnostics systems applied to the industrial equipment. The principle of such systems is based on the analysis of current measurements of the technological parameters of the object and further classification of its state as “normal” or “emergency” (“pre-emergency”). Summarizing the variety of approaches and calculation methods utilized in the named systems we can highlight the common problem area – this is the set of tuned parameters, that are usually assigned by an expert. Varying the tuned parameters can significantly change the scope of applicability of the selected diagnostic method, both towards improving the accuracy of the calculation results and in opposite direction, up to losing the adequacy. This paper proposes a comprehensive methodology for formalizing, assessing and optimizing the performance of predictive diagnostic algorithms.