

УДК 681.518.5

ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТОКОВ ДАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА

Рябцев В. Н., Хейфец М. Л., Савеня П. С.

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрен вопрос о повышении уровня техногенной безопасности за счет использования систем автоматизированного мониторинга для выявления эксплуатационных повреждений и мест их расположения. Описаны перспективы развития автоматизированной диагностики в рамках концепции «Индустрия 4.0». Обоснована эффективность использования нейросетевых технологий для определения мест расположения поврежденных элементов конструкций.

Ключевые слова: техногенная безопасность, техническая диагностика, системы автоматизированного мониторинга, жизненный цикл, нейронные сети.

DAMAGE DIAGNOSIS BASED ON ANALYSIS OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS DATA FLOWS

Ryabtsev V., Kheifets M., Savenya P.

State scientific institution «Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus»
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Consideration has been given to improving the level of technological safety by using automated monitoring systems to identify operational damage and its location. The perspectives of development of automated diagnostics within the framework of «Industry 4.0» concept are described. The effectiveness of using neural network technologies to determine the location of damaged structural elements is demonstrated.

Keywords: technological safety, technical diagnostics, automated monitoring systems, life cycle, neural networks.

Адрес для переписки: Рябцев В. Н., ул. Академическая, 16, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: ryabtsev@iaph.bas-net.by

Обеспечение техногенной безопасности сложных инженерных конструкций и продление времени безотказной работы на протяжении всего их жизненного цикла приобретает особую актуальность по мере развития технического прогресса. Ключевым фактором в решении этой проблемы является своевременная диагностика эксплуатационных повреждений конструкций и изделий. Кроме того, своевременная диагностика позволяет существенно снизить затраты на обслуживание конструкций и систем. По данным [1], эксплуатация по техническому состоянию может принести выгоду, эквивалентную стоимости 30 % общего парка машин.

По мере развития электроники, компьютерных технологий и информатики появилась возможность контролировать работу конструкций и отдельных узлов сложных систем при помощи встроенных датчиков с последующей компьютерной обработкой потоков генерируемых ими данных. Дальнейшее развитие систем со встроенными датчиками идет в направлении создания киберфизических систем, в которых вычислительные ресурсы синергетически интегрированы в физическую компоненту системы. Эти системы являются одной из составляющих концепции «Индустрия 4.0», позволяющих вывести производство и обслуживание сложных технических систем на новый технологический уровень [2]. Однако, в настоящее время, системы непрерыв-

ного наблюдения пока ограничиваются размещением в сложной технической системе отдельных датчиков с системой автоматической сигнализации превышения пороговых значений контролируемых параметров.

Например, установка систем автоматизированного мониторинга (САМ) конструкций обязательна для высотных зданий, возможный ущерб от аварии которых чрезмерно велик. Типовая структура такой система показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Типовая структура системы автоматизированного мониторинга высотного здания

Эта и подобные ей структуры являются системами контроля, но не способны выявлять появляющиеся в конструкции эксплуатационные повре-

ждения. Вместе с тем, диагностические функции САМ оказываются совершенно необходимыми не только для диагностики в режиме реального времени, но и при создании в будущем цифровых двойников (*Digital Twins*) конструкций, также предусмотренных концепцией «Индустрия 4.0».

Стратегия идентификации повреждений в конструкциях различного типа с использованием средств автоматизированного мониторинга получила в зарубежной литературе название *SHM* (*Structural Health Monitoring*) [3]. Задачами *SHM* являются: выявление наличия повреждений, определение мест их расположения, определение типа повреждений и определение их масштаба. Решению задач *SHM* посвящены многочисленные исследования, однако окончательного решения проблемы до сих пор не найдено.

Главной проблемой автоматизированной диагностики повреждений в несущих конструкциях по данным сенсоров САМ является незначительный размер повреждений по сравнению с размерами всей конструкции. Вследствие этого появление повреждений мало влияет на динамический отклик всей конструкции. Для увеличения количества значимой для диагностики информации в потоке данных САМ предлагается анализировать не потоки данных от единичных сенсоров, а анализировать поток от системы синхронно работающих датчиков как единого целого.

Однако при таком подходе увеличивается также и общий объем исследуемой информации, а также усложняется структура данных.

Для решения задачи определения расположения участков с поврежденным элементом конструкции нами применялась технология классификации с использованием обучаемой полносвязной нейронной сети прямого распространения. Типовая схема такой сети приведена на рисунке 2.

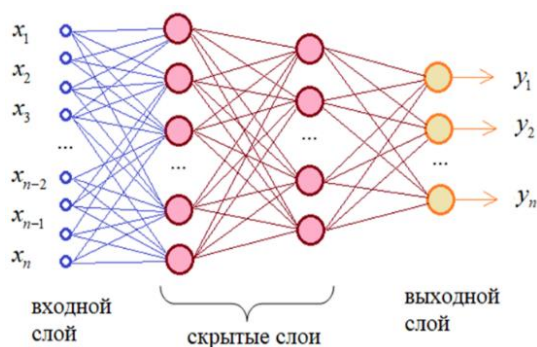


Рисунок 2 – Типовая схема полносвязной нейронной сети прямого распространения

Решение поставленной задачи, которая относится к классу обратных, достигается за счет использования обобщающей способности нейронных сетей.

Исходные данные для нейросетевого анализа потоков данных получены в результате компьютерного моделирования работы системы автоматизированного мониторинга при различных расположениях повреждений. Потоки данных были получены в результате динамических расчетов.

Для обучения нейронной сети использовалась выборка из 100 массивов данных при 6 вариантах расположения повреждений на каждом из участков. На вход нейронной сети подавались массивы данных из 2020 элементов каждый, полученные от 5 датчиков САМ, а на выходе получались вероятности расположения повреждения на одном из четырех участков.

Предварительно обученные нейросети позволили однозначно определить участок расположения повреждения по неизвестным сети тестовым сигналам датчиков.

Однако, существенным недостатком обучаемых нейронных сетей является большой объем обучающих выборок, требуемых для точной классификации объектов. Поэтому во многих случаях приходится принимать компромиссные решения, уменьшая количество участков в пользу сокращения объема обучающих выборок. Хотя количество разделяемых участков при этом сокращается, их количество оказывается достаточным для получения существенного эффекта в виде сведений об ориентировочном месте расположения повреждения.

Таким образом, можно утверждать, что задача определения места повреждения по сигналам системы датчиков может быть успешно решена за счет применения нейросетевых технологий.

Литература

1. Биргер, И. А. Техническая диагностика. Москва: Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Диагностика и мониторинг технического состояния на пути к ИНДУСТРИИ 4.0 / Н. Н. Ишин [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2018. – Т. 7. – С. 245–250.
3. Farrar, C. R. An introduction to structural health monitoring / C. R. Farrar, K. Worden // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2007. – V. 365, № 1851. – P. 303–315.
4. Рябцев, В. Н. Определение поврежденных элементов несущих конструкций здания с использованием нейронной сети / В. Н. Рябцев // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2022. – № 3. – С. 25–30.