

УДК 620.1.08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Н.И. Бушуева, аспирант гр. НМТА-122203, 2 курс; И.Ю. Теткин, студент гр. ЭН-310016, 3 курс
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
г. Екатеринбург

Аннотация: В работе исследуется инновационный подход к мониторингу состояния технического оборудования в теплоэнергетической промышленности. Предложено использование методов анализа акустической эмиссии с применением нейронных сетей для точной и автоматизированной оценки ресурса оборудования. В статье рассматриваются основы акустической эмиссии, применение нейронных сетей в анализе данных, их обучение на моделях дефектов. Предложенный подход может значительно улучшить точность и скорость выявления дефектов, что в свою очередь способствует оптимизации процессов технического обслуживания и продления ресурса оборудования на теплоэнергетических предприятиях.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, неразрушающий контроль, нейронные сети, система диагностики, теплоэнергетика.

Обнаружение дефектов в теплоэнергетическом оборудовании является критической задачей для обеспечения надежной работы и безопасности предприятий. Работа теплоэнергетического оборудования, такого как котлы и трубопроводы сопровождается высокими термическими напряжениями, что может привести к образованию трещин и сдвиговым деформациям в металле. Водные среды и высокие температуры могут способствовать возникновению коррозии, влияющей на структуру и прочность оборудования. Это особенно критично для систем, работающих с горячей водой и паром. Механический износ и трение, вызванные передачей тепла и давлением рабочих сред, могут привести к изнашиванию деталей. Частые циклы нагрева и охлаждения могут вызывать усталостные разрушения материалов, особенно в областях соединений. Дефекты в трубопроводах, такие как трещины или утечки, могут привести к серьезным последствиям, включая потерю тепла и аварийные ситуации. Неравномерное распределение тепла внутри оборудования может вызывать локальные перегревы, что способствует возникновению дефектов и снижает эффективность работы системы.

В частности, металл котельного оборудования тепловых электростанций эксплуатируется при высоких температурах и напряжениях, а также под воздействием коррозионно-активных сред. В нем происходят изменения вследствие накопления внутренних и внешних повреждений, что может привести к вынужденным остановкам котлов. Факторами, влияющими на развитие процесса высокотемпературного окисления, являются строение и фазовый химический состав оксидных пленок, образующихся при эксплуатации котельных труб.

Так, например, в работе [1] в поверхностных слоях пароперегревательных труб из стали 12Х1МФ после длительной эксплуатации характерно образование межкристаллитных коррозионных трещин, что снижает эксплуатационную надежность труб. Условия эксплуатации вынуждают значительно увеличить частоту вырезок с целью наблюдения за скоростью роста опасных изменений структуры и коррозионных повреждений металла. Высокотемпературное окисление уменьшает ресурс жаропрочных сталей, так как требуется замена труб при выявлении коррозионных трещин задолго до исхода запаса длительной прочности. Распределение утонения стенки труб в ходе эксплуатации, исследованное в работе [2], показывает, что существует большое количество зон, где происходит утонение более чем на 80%, что провоцирует развитие трещин и разрушение металла.

На сегодняшний день технический регламент обслуживания требует от теплоэнергетических предприятий проведение диагностических проверок оборудования, которое в случае парогазовых установок влечет останов оборудования. Решением данной проблемы является установка датчиков для анализа акустической эмиссии, которые позволяют отслеживать параметры течения рабочих тел в трубах, уровни вибрации оборудования, а также возникновение дефектов в стенке труб [3]. Ключевым отличием предлагаемой системы является ее пассивное использование, которое заключается в стационарной установке датчиков АЭ, данные с которых впоследствии передаются и обрабатываются нейронной сетью для отделения шумов и определения дефектов в автоматическом режиме.

Акустическая эмиссия может помочь в обнаружении микротрещин, коррозии и других дефектов в оборудовании задолго до того, как они станут серьезными проблемами. АЭ может использоваться для мониторинга состояния трубопроводов, выявляя изменения в структуре материала, появление трещин, эрозионных зон, образование накипи и скопление конденсата, что особенно важно для предотвращения утечек и аварий в трубопроводной системе. Анализ акустической эмиссии может предоставить информацию о степени износа оборудования, позволяя планировать замены деталей до их фактического выхода

из строя. Это позволяет использовать практически весь жизненный ресурс труб без снижения надежности и безопасности работы оборудования, тем самым перейти от плановых – к ремонтам по состоянию.

Для автоматизации процесса обработки сигналов со стационарно установленных датчиков АЭ предлагается использовать предварительно обученную нейронная сеть, которая позволит избавиться от шумов, возникающих при различных режимах эксплуатации, регистрировать зарождающиеся дефекты и контролировать их развитие.

Следует отметить, что в настоящее время исследования совместного функционирования нейронных сетей и систем акустической эмиссии являются актуальной темой [4,5]. Так, в работе [6] разработаны алгоритмы и программы интеллектуального блока акустико-эмиссионной системы предназначенных для анализа акустических сигналов, и связи их с данными, полученными на более ранних стадиях эксперимента. Для получения выборки обучающих данных требуется создания экспериментальных стендов, на которых будут искусственно созданы различные дефекты тепломеханического оборудования, например зарождение трещины (рис.1).

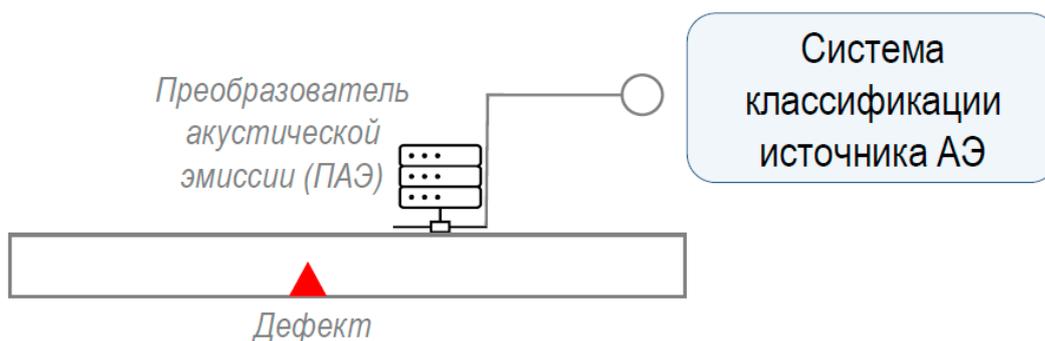


Рисунок 1. Принципиальная схема обнаружения дефекта

Скорость выявления дефекта зависит от интервала сбора данных с датчиков, при этом был рассмотрен наибольший интервал опроса, при котором время обнаружения составило до 1 часа, а подтверждение наличия дефекта, место и его тип до 2-х часов, что позволяет говорить, что у предложенной системы мониторинга срок определения дефекта не превышает трех часов, а также может быть снижен при уменьшении интервала сбора данных. Процесс обработки данных представлена на рис. 2.

Предлагаемая система мониторинга технического состояния тесно связана со штатным АСУТП, не заменяя, а дополняя его. Схема информационных потоков для современной системы мониторинга отображена на рис. 3.

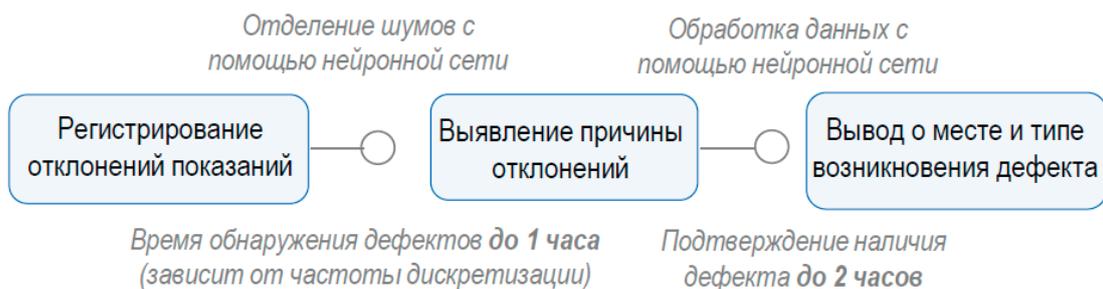


Рисунок 2. Пример последовательности работы пассивной системы анализа с использованием нейронной сети

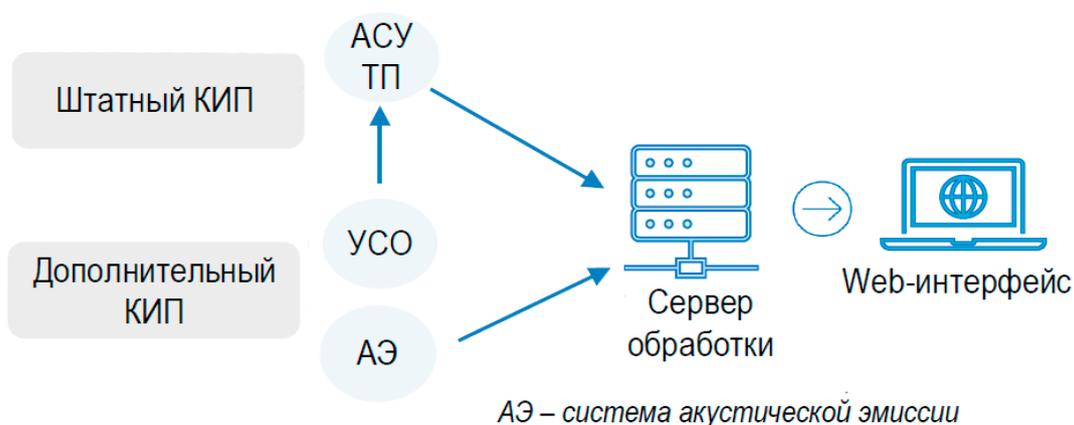


Рисунок 3. Схема информационных потоков новой системы мониторинга

Таким образом, в данной работе проведено исследование по возможной интеграции системы акустической эмиссии в сочетании с нейронной сетью для диагностирования функционирования оборудования теплоэнергетических предприятий.

Использование предложенной системы мониторинга позволит: рассчитывать скорость снижения ресурса, прогнозировать возникновение дефектов, планировать ремонты оборудования с учетом его реального состояния, отслеживать корреляцию между режимами работы, дефектами и качеством выпускаемой продукции, корректировать условия эксплуатации элементов для снижения количества дефектов без значительного снижения КПД.

Использование метода нейросетевого анализа данных акустической эмиссии представляет собой перспективный подход в области оценки состояния оборудования. Этот метод обеспечивает более точные результаты, позволяя детектировать потенциальные проблемы и предотвращать отказы оборудования на более ранних стадиях. Нейросетевой подход обладает способностью адаптироваться к различным условиям эксплуатации, что делает его универсальным инструментом для мониторинга и управления техническим обслуживанием. Дальнейшее развитие и интеграция данного метода в промышленные

процессы предоставит возможность повышения эффективности оборудования, снижения расходов на его техническое обслуживание и улучшения общей надежности технических систем.

Список литературы:

1. Абабков Н.В. Изменение структурно-фазового состояния стали 12Х1МФ в процессе эксплуатации [Текст] / Н.В. Абабков, Н.А. Попова, Е.Л. Нико-ненко, А.Н. Смирнов // *Фундаментальные проблемы современного мате-риаловедения*. – 2020. – № 2. – С. 203 – 209.
2. Suwarno S. Failure analysis of waste heat boiler tubing caused by a high local heat flux [Text] / S. Suwarno // *Engineering Failure Analysis*. – 2022. № 136.
3. Калинин П.В. Диагностирование технологического оборудования с помо-щью метода акустической эмиссии [Текст] / П.В. Калинин, А.Е. Дорофеев, С.И. Горностаев // *Журнал «ACADEMY»*. – 2016. – № 4 (7). – С. 12 – 14.
4. Forte G. Use of acoustic emission in combination with machine learning: mon-itoring of gas–liquid mixing in stirred tanks [Text] / F. Alberini, M. Simmons, H.E. Stitt // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2021. №3 2. – P. 633–640.
5. Wirtz S.F. Acoustic Emission-Based Diagnosis Using AlexNet [Text] / S.F. Wirtz // *Materials Research Proceedings*. – 2021. – № 18. – P. 186 – 194.
6. Овчарук В.Н. Опыт применения многослойной нейронной сети с обрат-ным распространением ошибки в целях решения задач неразрушающего контроля [Текст] / В.Н. Овчарук // *Журнал «Вестник тихоокеанского госу-дарственного университета»*. – 2023. – № 1 (68). С. 81 – 90.