

Предиктивный метод обнаружения дефектов поверхностей нагрева котельных агрегатов

А.В. Швынденкова

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Обоснование. Надежность — это главная характеристика качества оборудования. Понижение мощности, производительности и других технических характеристик объекта является следствием снижения надежности. При значительных отклонениях этих характеристик от нормативных значений и последующих тяжелых состояниях наступает полная неработоспособность или возникает отказ. Эксплуатация котельных агрегатов сопровождается сложными физическими и химическими процессами, интенсивность которых влияет на узлы и детали оборудования. Производственные структуры, используемые для получения тепловой и электрической энергии, а также отдельные их элементы совершенствуются и модернизируются из-за многих экологических норм и стратегий повышения энергоэффективности. Так, одним из наиболее перспективных направлений развития в этой области является применение цифровых технологий.

Цель — на эффективность работы энергетических комплексов оказывает существенное влияние надежность работы тепломеханического оборудования, которое в свою очередь подвергается различным видам разрушений. Главными элементами, провоцирующими отказы, являются поверхности нагрева котлоагрегатов. Заранее обнаруженное место возникновения дефекта и принятые своевременно мероприятия по его предупреждению являются действиями, которые обеспечат надежную и бесперебойную работу оборудования. Однако все существующие и применяемые в данное время методы не позволяют заранее и с высокой точностью определять места возникновения дефектов. Необходимо создать новый подход обеспечения надежности оборудования с использованием современных цифровых технологий. Так, на примере трубок поверхностей нагрева котла-утилизатора был разработан предиктивный метод по определению дефектных участков.

Методы. Для обеспечения безаварийного режима работы котла и увеличения срока службы поверхностей нагрева нужно следить за параметрами пара и уходящих газов, а также обеспечить автоматизированный централизованный оперативный контроль и управление такими процессами, как температурные расширения, температурные перекосы, температурные напряжения, коррозия. Суть разработанного решения заключается в создании единой экосистемы, объединяющей в себе различные системы контроля, анализа, сбора статистики, хранения и обработки информации. В основе этой экосистемы лежат как перекладные механические методы, так и современные цифровые, на основе комплексов различных программ. Для создания такой системы предлагается использовать датчики: температурных расширений, которые позволяют определять, в каком месте расширения превысили норму; датчики температуры, необходимые для получения информации о конкретном участке с ухудшенным процессом теплообмена и, как следствие, подверженном образованию накипи; датчики температурных напряжений. Для уменьшения количества образования твердых отложений на стенках трубы необходимо автоматизировать контроль качества питательной воды, используя: автоматическую систему дозирования реагентов; измерения уровня проводимости воды, уровня pH, уровня жесткости; контроль уровня воды. Данные с датчиков будут непрерывно выгружаться для хранения и дальнейшей передачи в серверную, откуда информация и все изменения будут заноситься в разработанную модель искусственной нейронной сети с помощью системы MATLAB. Система MATLAB представляет собой высокоуровневый язык математического программирования с возможностью моделирования нейронных сетей. Первым важнейшим преимуществом нейронных сетей, повышающим эффективность использования вычислительных ресурсов, является параллельная обработка информации всеми звеньями сети. Значительное количество нейронов и еще большее количество межнейронных связей (синапсов) в сочетании с их параллельной работой позволяет значительно ускорить процесс обработки информации. Второе важное свойство искусственных нейронных сетей — способность (ранее присущая лишь живым организмам) к обучению, в том числе и дообучению по вновь

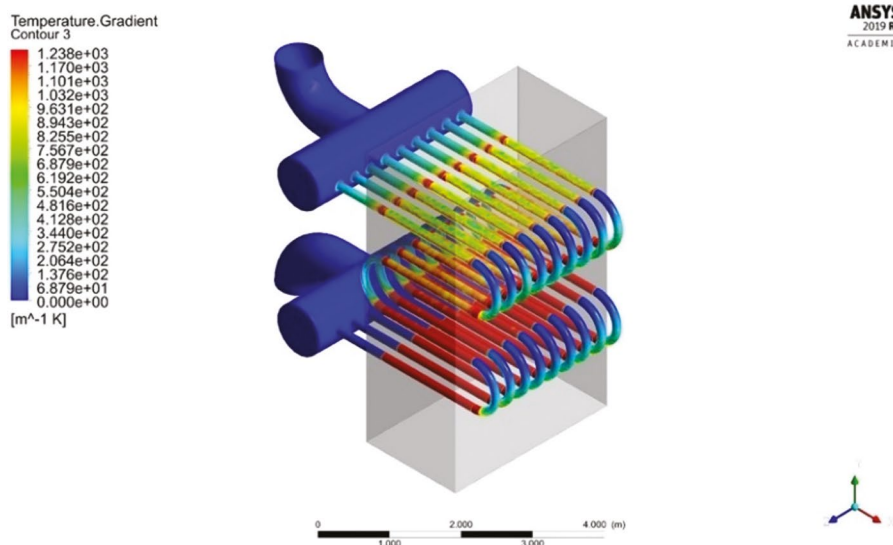


Рис. 1. Температурный напор на поверхности нагревательного устройства

поступившей информации, а также к обобщению накопленных знаний. Визуализация результатов обработки данных искусственной нейронной сети проводится посредством моделирования в программном комплексе ANSYS. Одним из ключевых преимуществ ANSYS является его способность проводить анализ не только в статических условиях, но и в динамических, что может быть особенно полезно при определении дефектов.

Результаты. Предложенный метод оказывает позитивное влияние на коэффициент полезного действия (1) и коэффициент теплопередачи. КПД котла зависит от суммарных потерь $\sum_2^6 q$:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (1)$$

Накипь, образующаяся на трубах, вызывает увеличение q_2 — потерь теплоты с уходящими газами и пережог труб. Из-за нарушения процесса теплообмена температура уходящих газов увеличивается. Отсюда следует, что с увеличением количества образований накипи КПД котла падает. Разработанный в данной работе метод позволяет предупредить образование накипи на поверхностях нагрева, тем самым поддерживать КПД котла на заданном уровне. Коэффициент теплопередачи k (2) представляет собой количественную расчетную величину, характеризующую сложный теплообмен. Он зависит от коэффициентов теплоотдачи, термического сопротивления стенки и загрязнений:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_{\text{нар}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_1 d_{\text{нар}}} + R_{\text{загр}}}. \quad (2)$$

На рис 1. представлены графические результаты моделирования процесса теплообмена на примере пароперегревателя котла-утилизатора. Техно-экономический расчет разработанного метода производится по числу часов простоя газовой и паровой турбины, так как при отказе котла-утилизатора прекращает свою работу парогазовая установка (ПГУ), в состав которой входят: газотурбинная установка (ГТУ) и паротурбинная установка (ПТУ). Число часов простоя в среднем составляет две недели, однако, используя разработанное решение, возможно сократить эту величину в два раза, то есть до 168 ч [1].

Выводы. Таким образом, предложенный в настоящей работе метод предиктивного обнаружения дефектов участков труб поверхностей нагрева котла-утилизатора с использованием цифровых технологий и прикладных механических методов является перспективным для дальнейшей проработки и внедрения на производстве.

Ключевые слова: надежность; теплоэнергетическое оборудование; предиктивный метод; ANSYS; искусственная нейронная сеть; MATLAB.

Список литературы

1. Швынденкова А.В. Предиктивный метод обнаружения дефектов как инструмент повышения эффективности энергетического оборудования. В кн.: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Т. 12; 16–17 мая 2023; Белгород. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. С. 446–450.

Сведения об авторах:

Анна Владимировна Швынденкова — студентка, группа 1-ТЭФ-23ТЭФ-104М, теплоэнергетический факультет; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: anna.shvindenkova@gmail.com

Сведения о научном руководителе:

Василий Константинович Ткачев — кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции»; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: tvk93@yandex.ru