

**VI Международная молодежная научно-практическая  
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
101-1  
17-23 ноября 2023 года**

УДК 621.182

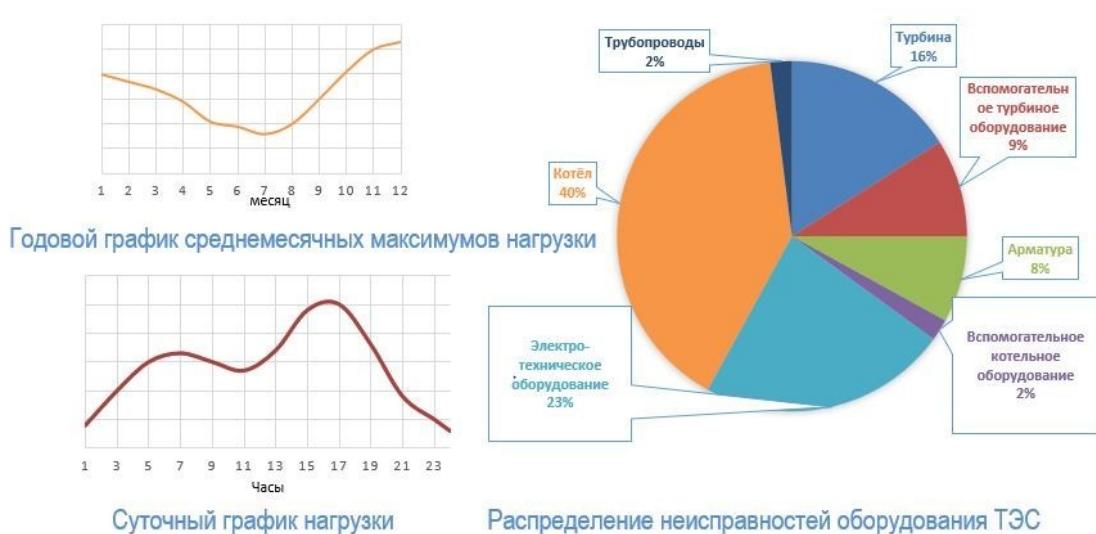
Д.В. АРТЮШЕНКО, студент гр. 111112 (САФУ им. М.В. Ломоносова)  
г. Архангельск

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОВРЕЖДЁННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

В отчете об устойчивом развитии производственных компаний группы Газпром энергохолдинг за 2020 год особое внимание уделяется производственно-техническим рискам, таким как риск выхода из строя производственного оборудования, перебоев технологических процессов, аварий на оборудовании, аварийных ситуаций при теплоснабжении, перебоев технологического процесса [1].

Решением этих проблем отчете предлагается: своевременное проведение ремонтных работ и работ по модернизации, реконструкции и техническому перевооружению. Обучение и повышение квалификации персонала. Регулярное обследование и выявление оборудования, подлежащего замене или ремонту. Реализация инвестиционной программы с заменой устаревших мощностей. Проведение учений в целях выработки навыков действий в нестандартных ситуациях. Инструктаж персонала и подрядных организаций. Обзор ремонтной статистики в графиках представлен на слайде. Из графиков наглядно становится понятным, что проблема действительно острая.

Начать рассмотрение поставленного вопроса можно с анализа причин снижения надежности оборудования, представленного на рисунке 1.



# **VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

**101-2**

**17-23 ноября 2023 года**

**Рис. 1 - Анализ причин появления дефектов**

Часто повреждение одного элемента в цепочке оборудования энергоблоков приводит к останову последующего. Также снижение надежности может быть из-за ошибок проектирования, недостатка технических решений, использования некачественных материалов, применения аналогов более низкого качества, неравномерности нагрузки, износа оборудования, недостаточной квалификации персонала, ошибок на этапе ПНР.

Но наиболее частой причиной аварий становится разрушение трубок поверхностей теплообмена котлоагрегатов в местах гибов.

При повороте потока в трубе, под воздействием центробежных сил, происходит отброс воды в сторону выпуклости гиба, в результате чего возникают два симметричных вихря с максимумом скорости. Этим объясняется наличие максимального утончения труб со смещением повреждений от оси гиба трубы. Под воздействием центробежных и гравитационных сил происходит интенсивная турбулизация потока. При которой в пристенной плёнке воды с температурой насыщения происходит образование пузырьков, то есть вскипание пара и их схлопывание, что вызывает кавитационный износ металла. Исходя из полученной информации было выделено для рассмотрения наиболее подходящие и современные методы выявления дефектов, такие, как тепловизионная съемка, автоматизированное рабочее место, цифровой двойник, конденсационный гигрометр и дефектоскопия, они представлены на рисунке 2.

	<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>	<b>Стоимость</b>
<b>Тепловизор</b>	-Тепловизору не требуется осуществлять подсветку объекта наблюдения -Тепловизор имеет высокую чувствительность	-Стоимость -Ограниченный ресурс работы	25000–2 млн руб.
<b>Автоматическое рабочее место</b>	-Своевременная реакция во время аварийных ситуаций -Моментальное фиксирование изменений в работе и оповещение -Автоматическое отключение при сбоях в функционировании агрегатов -Небольшие затраты на обслуживание системы	-Присутствует вероятность утечки данных и внедрение чужих кодов в систему	1 млн – 3 млн руб.
<b>Цифровой двойник</b>	-Планирование и управление ремонтами энергетического оборудования -Моделирование основного и вспомогательного генерирующего оборудования ТЭС -Планирование программы ремонтов	-Привлечение доп. персонала -Дороговизна технологий -Сложность системы -Непредсказуемость в поведении ИИ -Недостаточно изучен	1 млн – 100 млн руб.
<b>Конденсационный гигрометр</b>	-Высокая точность измерений -Достоверность показаний -Длительная стабильность работы прибора; -Минимальная потребность в техническом обслуживании	-Ограниченный диапазон рабочих температур -Высокую сложность настройки -Влияние состава воздуха на точность измерений	100-200 тыс.руб
<b>Дефектоскопия</b>	-Высокая чувствительность при выявлении в изделиях трещин -Возможность обнаружения дефектных участков в режиме on-line -Компактность оборудования, невысокая стоимость, быстрое получение результата -Возможностью осуществления контроля непосредственно на месте производства работ	-Сложность определения характера и реальных габаритов дефектных мест -Необходимость соприкосновения с исследуемым участком при измерении	50 тыс.руб-3 млн.руб

**VI Международная молодежная научно-практическая  
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
101-3  
17-23 ноября 2023 года**

---

---

Рисунок 2 - Таблица методов выявления дефектов

Был проведён небольшой сравнительный анализ и решено остановиться более подробно на двух из них.

Цифровой двойник — это цифровая копия физического объекта или процесса для проведения сценарного анализа и оптимизации эффективности бизнеса. Цифровые модели создаются на основе технологических схем производств, нормативнотехнической документации и фактических данных.

Основная цель - выбор оптимальных наиболее выгодных режимов работы, снижение затрат. Главная цель, которую можно осуществить с его помощью - смоделировать поверхности теплообмена и КУ в целом, оценка появления возможных проблем во время эксплуатации на основе вводных данных и существующего режима эксплуатации, предупреждение дефектов до их выявления, возможность включения в текущий (плановый) ремонт.

Второй метод — это конденсационный гигрометр. Гигрометр измеряет содержание влаги в воздухе. В дымовых газах КУ влажность практически отсутствует либо имеет стабильные значения. Установка конденсационного гигрометра на уровне дымовой трубы позволит фиксировать даже незначительное отклонение влажности, что позволит сделать вывод об утечках воды в поверхностях теплообмена и своевременно принять соответствующие меры.

Подводя итоги хочется отметить, что оба представленных нами метода имеют свои достоинства и недостатки. Так, несмотря на высокую стоимость, цифровой двойник позволит предупреждать дефекты оборудования на этапах их образования, посредством включения уязвимых мест в плановый ремонт для более тщательного обследования этих участков, что позволит значительно сократить потери при авариях. Конденсационный гигрометр, в свою очередь, имеет невысокую стоимость, его установка обойдется порядком 300 тысяч рублей, что значительно ниже стоимости цифрового двойника, но также позволит выявлять дефекты на самых ранних стадиях их появления. Таким образом, выбор конкретного метода будет обусловлен количеством капиталовложений и целью применения.

**Список литературы:**

1. Осипов Д.А., Журавлева Н.В. ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ К ПРОВЕДЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО

**VI Международная молодежная научно-практическая  
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
101-4 17-23 ноября 2023 года**

---

---

ОБОРУДОВАНИЯ КОТЕЛЬНОЙ // Вестник магистратуры. 2021. №2-1 (113). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-podgotovki-k-provedeniyu-ispytaniy-teplomehanicheskogo-oborudovaniya-kotelnoy> (дата обращения: 03.10.2023).

Информация об авторах:

Артюшенко Данил Вадимович, студент гр. 111112, САФУ им. М.В. Ломоносова, 163002, Российская Федерация, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17, [danil.artyush2021@mail.ru](mailto:danil.artyush2021@mail.ru)