

Программное обеспечение системы управления техническим состоянием основного оборудования тепловых электростанций

Л.В. Плотникова, А.М. Байнов, С.Ю. Ситников

Казанский государственный энергетический университет

Аннотация: Рассмотрена проблематика цифровизации системы учёта данных и управления техническим состоянием оборудования на тепловых электростанциях. Описано разработанное программное обеспечение (ПО) для автоматизации системы учета данных и визуализации технических параметров надежности котлотурбинного оборудования. Данное предложение позволило внедрить цифровые технологии в процесс учета данных о техническом состоянии оборудования, где впервые в ПО заложена методика автоматического расчёта индекса технического состояния котлоагрегатов. Работа ПО позволяет повысить оперативность выявления отклонений в работе оборудования, проведения ремонтных работ и, следовательно, позволяет снизить вероятность аварийного состояния основного оборудования электростанций.

Ключевые слова: тепловая электростанция, котлотурбинное оборудование, программное обеспечение, цифровизация, техническое состояние, параметры состояния, надежность, отказ, авария, ремонт.

Введение

Энергетическая отрасль занимается производством тепловой и электрической энергии; основную роль в этом процессе выполняют тепловые электростанции (ТЭС). Основными энергогенерирующими агрегатами ТЭС являются паровые котлы (котлоагрегаты) и паровые турбины (турбоагрегаты); вопросам управления надежностью такого оборудования в настоящее время уделяется значительное внимание [1-2]. От данных агрегатов зависит работоспособность всей тепловой электростанции [3]. Если такое оборудование выйдет из строя и необходимые меры по решению возникшей аварийной ситуации не будут приняты вовремя, а вероятность выхода из строя велика в связи с наличием вибрации во вращающихся элементах оборудования [4-5], то возрастает вероятность уменьшения работоспособности станции вплоть до приостановки работы. Таким образом, вопрос оперативного отслеживания технического состояния всего

работающего оборудования и выявления неполадок с минимальными затратами времени является актуальным и исследуемым [6-7].

На сегодняшний день на энергетических объектах система учёта данных о техническом состоянии котлотурбинного оборудования имеет ряд недостатков: отсутствует единая база данных для постоянного просмотра отчётов; согласование отчётов и передача их между сотрудниками затруднительна и занимает много времени; исправление неточностей и корректировка данных в ведомостях параметров состояния оборудования асинхронна и требует значительных затрат времени; отсутствует возможность формирования ведомостей в режиме онлайн за какой-либо месяц и год; затруднителен контроль учёта оборудования.

В результате анализа ситуации сформировалась потребность в цифровизации системы учёта данных о техническом состоянии котлотурбинного оборудования, в ответ на что предложено и разработано программное обеспечение (ПО) для автоматизации системы учета данных о техническом состоянии оборудования ТЭС и визуализации технических параметров надежности на тепловых электростанциях.

Методика разработки программного обеспечения для отслеживания технического состояния оборудования

В работу ПО заложена методика определения индекса технического состояния (ИТС) [8] оборудования. При разработке ПО использованы язык программирования JavaScript, библиотека React.js.

Рассмотрим процесс отслеживания технического состояния оборудования и дальнейшего управления им на примере АО «Татэнерго». Здесь оформляют ведомости, в которые включены параметры технического состояния оборудования, их значение при нормальном техническом состоянии. Специалист вводит фактические параметры и сравнивает их с нормой. Если замечено отклонение, то параметр необходимо выделить как

превышение нормы. Помимо параметров специалист вводит информацию о датах ремонта и мероприятиях, проведенных по устранению неполадок.

Оценивание технического состояния оборудования проводится с помощью сравнения фактических значений параметров функционального узла с номинальными, которые требуются документацией. Параметры технического состояния таких узлов оцениваются по 4-х балльной шкале оценки отклонения фактических значений от норм, закрепленных документацией [4]. Балльная шкала оценки описывает качественную оценку параметров технического состояния. В таблице № 1 приведены ее диапазоны.

Расчёт ИТС функциональных узлов начинается с сопоставления фактического параметра узла из n -ой группы параметров с нормой и определения балла по шкале качественной оценки. Также необходимо определить весовой коэффициент для n -ой группы параметров [8].

Таблица № 1

Диапазоны балльной шкалы качественной оценки параметров

Балл	Качественная оценка параметра
0	Фактические параметры располагаются вне зоны предельно-допустимых значений
1	Фактические параметры располагаются в зоне предельно-допустимых значений, но оборудование осуществляет требуемые функции не в полном объеме
2	Фактические параметры – в зоне предельно-допустимых значений, но есть вероятность отказа оборудования
3	Фактические параметры – в зоне предельно-допустимых значений, но есть вероятность ухудшения значения параметра
4	У фактических параметров нет отклонения от нормы, оборудование работает в полную силу и выполняет все функции

Формула для расчета ИТС функциональных узлов (1):

$$ИТС_y = 100 \cdot \sum n \cdot (KB_n \cdot БАЛЛ_n) / 4 \quad (1)$$

где $БАЛЛ_n$ – балльная оценка параметра функционального узла n -ой группы параметров; KB_n – значение весового коэффициента для n -ой группы параметров, в соответствии с документацией.

Оценка результата расчёта ИТС основного оборудования необходима для определения необходимости проведения технического воздействия [8-10]. В таблице № 2 приведены меры предпринимаемого технического воздействия, исходя из оценки ИТС оборудования.

Таблица № 2

Меры технического воздействия

Диапазон ИТС	Оценка технического состояния	Вид технического воздействия
≤ 25	Критическое	Немедленное прекращение эксплуатации, реконструкция и перевооружение
$25 < и \leq 50$	Неудовлетворительное	Тщательный контроль за работой оборудования, постоянное техническое обслуживание и ремонт
$50 < и \leq 70$	Удовлетворительное	Умеренный контроль за работой оборудования, реконструкция
$70 < и \leq 85$	Хорошее	Принятие необходимых мер по результатам планового диагностирования оборудования
$85 < и \leq 100$	Очень хорошее	Плановое диагностирование оборудования

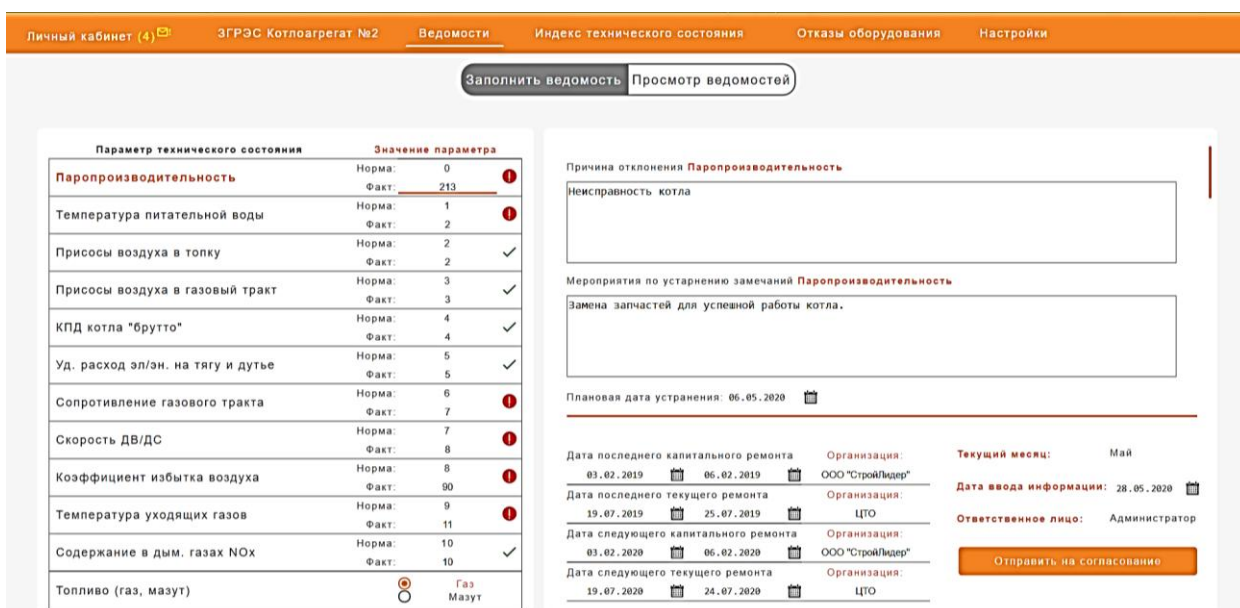
Результаты разработки программного продукта

Конечный программный продукт представляет собой одностороннее web-приложение для цифровой оценки надежности [9] и ведения учета технического состояния основного оборудования ТЭС. Программное приложение состоит из трех основных слоёв, а именно слой представления пользовательского интерфейса (UI – User Interface), слой бизнес-логики и внутренний слой доступа к данным.

Были выставлены следующие общие требования к ПО: ввод, хранение, корректировка информации; авторизация пользователей; формирование отчетов (ежегодного, ежемесячного); расчет ИТС котлоагрегатов; ведение учета неисправности оборудования; организация процесса согласования

отчетов; отправка и получение уведомлений. Приложение обеспечивает механизмы аутентификации пользователей и разграничения прав доступа к данным, чтобы избежать утечку или потерю важной информации.

После авторизации пользователю открывается основной интерфейс, он состоит из верхней инструментальной панели, которая включает в себя 6 кнопок: «Личный кабинет», «Выбор филиала и оборудования» (например, КТЭС-1 Котлоагрегат №6), «Ведомости», «Индекс технического состояния», «Отказы оборудования», «Настройки». Во вкладке «Личный кабинет» отображается количество новых уведомлений о согласовании отчётов. При взаимодействии пользователя с любой из вкладок на экране будет меняться содержимое страницы (рис. 1).



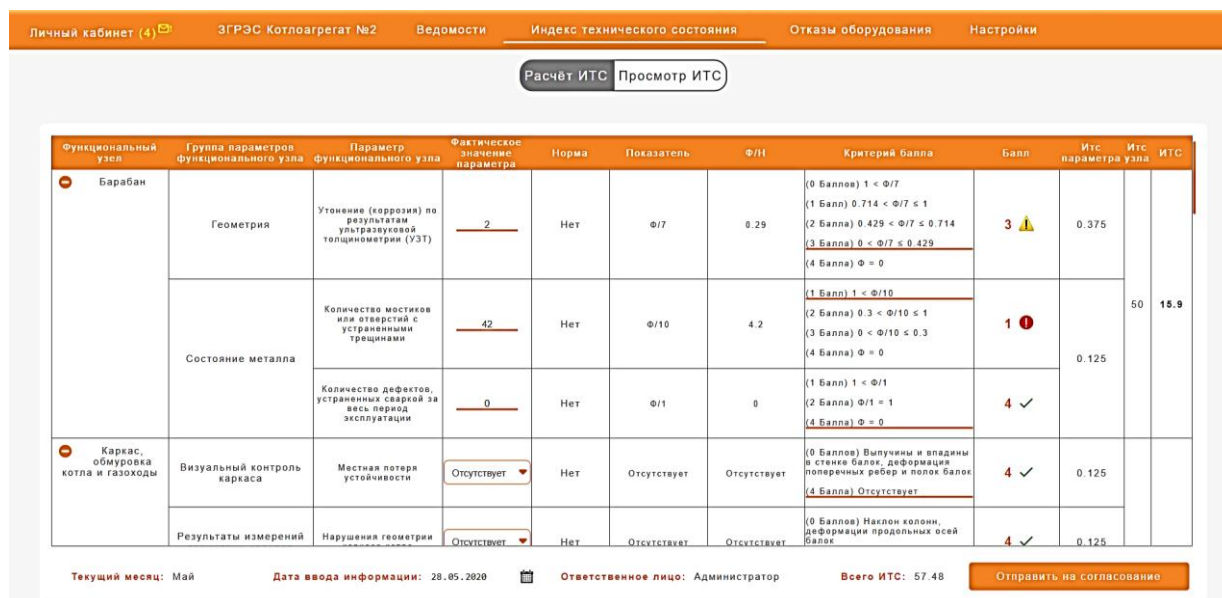
The screenshot shows the 'Ведомости' (Reports) tab in the application. At the top, there are navigation buttons: 'Заполнить ведомость' (Fill report) and 'Просмотр ведомостей' (View reports). Below this is a table of technical parameters with columns for 'Параметр технического состояния' (Technical parameter) and 'Значение параметра' (Parameter value). The table lists various parameters such as 'Паропроизводительность' (Steam production), 'Температура питательной воды' (Feedwater temperature), and 'Содержание в дым. газах NOx' (NOx content in flue gases). To the right of the table is a detailed view for the 'Паропроизводительность' parameter, showing the cause of deviation ('Неисправность котла'), measures for improvement ('Замена запчастей для успешной работы котла.'), and a plan for elimination ('Плановая дата устранения: 06.05.2020'). Below this, there is a summary section with dates for the last capital and current repairs, the organization ('ООО "СтройЛидер"'), the current month ('Май'), and the responsible person ('Администратор'). An 'Отправить на согласование' (Send for approval) button is located at the bottom right of the detailed view.

Параметр технического состояния	Значение параметра
Паропроизводительность	Норма: 0 Факт: 213
Температура питательной воды	Норма: 1 Факт: 2
Присосы воздуха в топку	Норма: 2 Факт: 2
Присосы воздуха в газовый тракт	Норма: 3 Факт: 3
КПД котла "брутто"	Норма: 4 Факт: 4
Уд. расход эл/эн. на тягу и дутье	Норма: 5 Факт: 5
Соппротивление газового тракта	Норма: 6 Факт: 7
Скорость ДВ/ДС	Норма: 7 Факт: 8
Коэффициент избытка воздуха	Норма: 8 Факт: 90
Температура уходящих газов	Норма: 9 Факт: 11
Содержание в дым. газах NOx	Норма: 10 Факт: 10
Топливо (газ, мазут)	<input checked="" type="radio"/> Газ <input type="radio"/> Мазут

Рис. 1 – Вкладка «Ведомости», режим заполнения

Вкладка «Ведомости» позволяет пользователю заполнять и просматривать отчёты о техническом состоянии оборудования ТЭС. Кнопка «Заполнить ведомость» переключает систему в режим заполнения ежемесячной ведомости, а кнопка «Просмотр ведомости» переключает систему в режим чтения ведомостей (рис.1).

Вкладка «Индекс технического состояния» (рис. 2) позволяет пользователю производить расчёт ИТС котлоагрегатов и просматривать отчёты о расчёте за любой месяц и год.






Функциональный узел	Группа параметров функционального узла	Параметр функционального узла	Фактическое значение параметра	Норма	Показатель	Ф/Н	Критерий Балла	Балл	ИТС параметра узла	ИТС	ИТС
Барaban	Геометрия	Утонение (коррозия) по результатам ультразвуковой толщинометрии (УЗТ)	2	Нет	Ф/7	0.29	(0 Баллов) 1 < Ф/7 (1 Балл) 0.714 < Ф/7 ≤ 1 (2 Балла) 0.429 < Ф/7 ≤ 0.714 (3 Балла) 0 < Ф/7 ≤ 0.429 (4 Балла) Ф = 0	3 ⚠	0.375	50	15.9
		Состояние металла	Количество мостиков или отверстий с устраненными трещинами	42	Нет	Ф/10	4.2	(1 Балл) 1 < Ф/10 (2 Балла) 0.3 < Ф/10 ≤ 1 (3 Балла) 0 < Ф/10 ≤ 0.3 (4 Балла) Ф = 0	1 🚫		
	Количество дефектов, устраненных сваркой за весь период эксплуатации	0	Нет	Ф/1	0	(1 Балл) 1 < Ф/1 (2 Балла) Ф/1 = 1 (4 Балла) Ф = 0	4 ✓				
Каркас, обмуровка котла и газоходы	Визуальный контроль каркаса	Местная потеря устойчивости	Отсутствует	Нет	Отсутствует	Отсутствует	(0 Баллов) Выпучины и впадины в стенке балок, деформация поперечных ребер и полок балок (4 Балла) Отсутствует	4 ✓	0.125		
	Результаты измерений	Нарушения геометрии	Отсутствует	Нет	Отсутствует	Отсутствует	(0 Баллов) Наклон колонн, деформация продольных осей балок	4 ✓	0.125		

Текущий месяц: Май Дата ввода информации: 28.05.2020 Ответственное лицо: Администратор Всего ИТС: 57.48 Отправить на согласование

Рис. 2 – Вкладка «Индекс технического состояния», режим расчёта ИТС

Алгоритм работы с вкладкой «Индекс технического состояния» следующий. Функциональные узлы разбиты на 14 групп модульных узлов, которые, в свою очередь, распределяются на 25 параметров. Для каждого параметра отведено поле ввода или список выбора параметра. При изменении значения параметра вычисляется балл посредством критерия балла и, исходя из самого наименьшего значения в группе, высчитывается ИТС параметра. Далее, из ИТС параметров вычисляется индекс группы параметров в процентном соотношении, который переводится в итоговое число ИТС группы параметров. Все итоговые индексы групп суммируются и получается итоговое значение ИТС котлоагрегата. Балл для каждого параметра вычисляется по критериям, описанным в «Методике оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей», утвержденной приказом Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 года

№ 676 [10]. Если параметр находится вне зоны предельно-допустимых значений, то выводятся соответствующие знаки  и , иначе выводится знак . Реализована кнопка «Свернуть группу функционального узла».

Выводы

Разработанное программное обеспечение выполняет заявленные функции приложения и обеспечивает разграничение прав доступа для пользователей. Особенности библиотеки React.js создания Virtual DOM-дерева и динамические изменения только отдельных частей настоящего DOM-дерева позволили добиться лучшей производительности для высоконагруженного приложения.

Программное обеспечение обеспечивает сокращение времени простоя оборудования, а также уменьшение вероятности выхода из строя отлоагрегатов. До внедрения ПО на получение информации и принятие управленческих решений в среднем уходило в сумме от 3 до 4 дней. После ожидаемого внедрения ПО доступ к новой информации появится в день ежемесячной проверки технического состояния оборудования, из-за чего время на принятие решений о ремонте или приостановке работы уменьшится до 1-2 дней. Таким образом, сократится вероятность критической поломки и выхода из строя основного оборудования ТЭС на 32% во время ожидания принятия управленческого решения.

Литература

1. Парадник Е.В. Управление процессом диагностики надежности оборудования тепловых электростанций // Информационные системы и технологии: управление и безопасность. 2012. № 1. С. 240-243.
2. Изотова О.А. Метод оценки надежности газотурбинной электростанции // Электрика. 2015. № 6. С. 14-17.

3. Осипов О.И., Карандаев А.С., Храмшин В.Р., Храмшин Т.Р. Повышение надежности электроприводов тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты // Электротехника. 2017. № 1. С. 28-34.
4. Malahov A.O., Zagretdinov A.R., Ziganshin Sh.G., Vankov Yu.V. Application of the rescaled range analysis for vibro-acoustic imbalance control of rotary equipment // Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 1. p. 1328.
5. Shvetsov I.V., Vankov Yu.V., Zagretdinov A.R. Control of rotary equipment unbalance with using statistical criteria comparison of vibration spectrum // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 441. № 1. p. 012051.
6. Горбунова Т.Г., Ваньков Ю.В., Политова Т.О. Расчет и оценка показателей надежности при проектировании тепловых сетей // Инженерный вестник Дона. 2014. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2228.
7. Стасева Е.В., Федина Е.В. Системный подход к мониторингу технического состояния зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2172.
8. Гаврилюк Е.А., Манцеров С.А, Панов А.Ю. Прогнозирование отказов систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами на основе индекса технического состояния и степени риска // Фундаментальные исследования. 2015. № 7-2. С. 309-313.
9. Мищеряков С.В. Цифровая оценка надежности производственной системы субъектов энергетики // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 2. С. 109-116.
10. Черезов А.В, Грабчак Е.П. Зарубежный опыт нормативно-правового регулирования обеспечения надежности в электроэнергетике // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 2 (33). С. 2-8.

References

1. Paradnik E.V. Informacionnye sistemy i tehnologii: upravlenie i bezopasnost'. 2012. № 1. pp. 240-243.
2. Izotova O.A. Jelektrika. 2015. № 6. pp. 14-17.
3. Osipov O.I., Karandaev A.S., Hramshin V.R., Hramshin T.R. Jelektrotehnika. 2017. № 1. pp. 28-34.
4. Malahov A.O., Zagretidinov A.R., Ziganshin Sh.G., Vankov Yu.V. Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 1. p. 1328.
5. Shvetsov I.V., Vankov Yu.V., Zagretidinov A.R. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 441. № 1. p. 012051.
6. Gorbunova T.G., Van'kov Ju.V., Politova T.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2228.
7. Staseva E.V., Fedina E.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2172.
8. Gavriljuk E.A., Mancеров S.A., Panov A.Ju. Fundamental'nye issledovanija. 2015. № 7-2. pp. 309-313.
9. Mishherjakov S.V. Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki. 2018. T. 11. № 2. pp. 109-116.
10. Cherezov A.V, Grabchak E.P. Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki. 2016. № 2 (33). pp. 2-8.