Министерство образования и науки Российской Федерации

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт компьютерных наук и кибербезопасности

Высшая школа управления киберфизическими системами

|  |
| --- |
|  |

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕТСВА РАБОТАЮЩИХ ГОРЕЛОК ПО РАСХОДУ МАЗУТА И ИЗМЕНЕНИЯ ИХ КОЛИЧЕСТВА ПРИ ИЗМЕНЕНИ ДАВЛЕНИЯ МАЗУТА**

направление 27.03.04 – Управление в технических системах

профиль 27.03.04\_05 - Интеллектуальные системы обработки информации и

управления

|  |  |
| --- | --- |
| Выполнил  студент гр. 5132704/00501  Руководитель  к.т.н, доцент | А. В. Александров  В. Н. Хохловский |

Санкт-Петербург

2024

**Введение**

В современной промышленной эксплуатации одной из критически важных задач является контроль за работой технологических устройств, в частности, горелочных устройств, использующих мазут в качестве топлива.

Определение количества работающих горелок котлоагрегата является важной задачей для обеспечения эффективной работы тепловой установки. Горелки играют ключевую роль в процессе сжигания топлива и преобразования энергии в тепло, которое затем передается носителю тепла. Правильное определение количества работающих горелок напрямую влияет на эффективность и безопасность работы котельной.

**Целью данной бакалаврской работы** является разработка программного решения, которое позволит определять количество работающих горелок на основе анализа паропроизводительности, расхода и давлении мазута. Внедрение такой системы способно значительно повысить контроль за процессом сжигания мазута, что, в свою очередь, позволит не только экономить топливо, но и повысить общую безопасность работы оборудования.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности производственных процессов и минимизации человеческого фактора в контроле за критически важными параметрами работы оборудования. Разработка такой программы дает возможность операторам получать достоверную информацию о состоянии горелок, что способствует более точной настройке процессов и уменьшению времени реагирования на аварийные ситуации.

# 1 Общие положения об АСУ ТП и работе котлоагрегатов

АСУ ТП - это система, состоящая из персонала и совокупности оборудования с программным обеспечением, использующихся для автоматизации функций этого самого персонала по управлению промышленными объектами: электростанциями, котельными, насосными, водоочистными сооружениями, пищевыми, химическими, металлургическими заводами, нефтегазовыми объектами и т.д.

В данной главе будут рассмотрены общие положения о котлоагрегатах и режимных картах, на основе которых в котлоагрегатах выставляют оптимальные параметры работы.

## Общие положения о котлоагрегатах и принципе их работы

Котельная – здание (в том числе блок-модульного типа) или комплекс зданий и сооружений с котельными установками и вспомогательным технологическим оборудованием, предназначенных для выработки тепловой энергии.

Котельная установка – котел (котлоагрегат) совместно с горелочными, топочными тягодутьевыми устройствами, механизмами для удаления продуктов горения и использования тепловой энергии уходящего мазута (газа) и оснащенный.

Принцип действия котлов на мазуте следующий:

1. Подача топлива в форсунку под давлением, в данном случае мазут
2. Распыление жидкого топлива на выходе с образованием мелких частиц
3. Частицы растворяются, смешиваются с воздухом и образуют горючую смесь
4. Тепло и горячий выхлоп нагревают воду в котловом баке
5. Циркуляционный насос перемешает разогретую воду по контуру

## Преимущества и недостатки мазута

Существенный недостаток мазута — его сильный неприятный запах. Соответственно, от котельной установки тоже может пахнуть, что не слишком удобно для частного домовладения или жилого комплекса. Оно не слишком экологически чисто, особенно по сравнению с газом или биотопливом, и нуждается в серьёзном запасе мазута — то есть, в отдельной крупной ёмкости для хранения. Периодически все системы загрязняются, и их нужно чистить.

Преимущества:

* Повсеместная доступность мазута — это очень распространённое топливо
* Сравнительно высокая пожарная безопасность
* Отсутствие необходимости готовить многочисленные разрешения
* Независимость от централизованных магистралей
* Жидкий мазут недорог, он не растёт в цене так быстро, как дизтопливо. Его легко найти и закупить.

## Режимные карты и их роли в эксплуатации котлоагрегатов

Режимная карта является важным инструментом в управлении и эксплуатации котлоагрегатов на тепловых электростанциях и в других промышленных установках. Это документ, составляемый организацией-подрядчиком по завершению пуско-наладочных и режимно-наладочных работ. Каждый котел должен иметь заполненную режимную карту и эксплуатироваться согласно ей.

Роль режимной карты в работе котлоагрегата:

1. Определение рабочих параметров: режимная карта устанавливает основные параметры работы котла, такие как давление, температура, скорость потока теплоносителя и другие критически важные показатели. Эти параметры определяются на основе проектных характеристик агрегата и его эксплуатационных возможностей.
2. Обеспечение безопасности: Режимная карта помогает контролировать условия работы котлоагрегата таким образом, чтобы предотвратить аварийные ситуации. Она указывает на допустимые границы изменения параметров, выход за которые может привести к сбоям или несчастным случаям.
3. Оптимизация процессов: Использование режимных карт позволяет оптимизировать процесс сгорания топлива, повышать тепловую эффективность и уменьшать потребление топлива и выбросы вредных веществ.
4. Контроль и мониторинг: Режимная карта используется операторами и инженерами для мониторинга текущих условий работы котлоагрегата и его соответствия установленным нормам. Это позволяет своевременно выявлять отклонения и принимать меры для их корректировки.

Пример содержания режимной карты:

1. Основные параметры работы: давление пара, температура пара, уровень воды в барабане.
2. Режимы работы: номинальный, пониженный, повышенный.
3. Лимиты и предупреждения: максимально и минимально допустимые значения параметров.
4. Инструкции по регулировке: как реагировать на изменение параметров, в том числе настройки контрольно-измерительных приборов и автоматики.

В зависимости от типа и мощности котлоагрегата, а также от специфики производственного процесса, содержание режимной карты может значительно различаться, однако её основная цель — обеспечение безопасной, эффективной и стабильной работы остаётся неизменной.

## 1.4 Виды горелок и их особенности

Горелки, используемые в котлоагрегатах, могут различаться по конструкции, принципу действия и типу используемого топлива. В зависимости от этих факторов, горелки можно классифицировать следующим образом:

1. По типу топлива:

- Мазутные горелки: предназначены для сжигания жидкого топлива, такого как мазут. Они оснащены форсунками для распыления топлива и создания горючей смеси.

- Газовые горелки: работают на природном газе или сжиженном углеводородном газе. Они обеспечивают более чистое сгорание и меньшие выбросы вредных веществ.

- Комбинированные горелки: могут работать как на жидком, так и на газообразном топливе, что позволяет гибко переключаться между различными видами топлива в зависимости от их доступности и стоимости.

2. По конструкции:

- Одноступенчатые горелки: имеют одну ступень регулирования мощности и работают либо на полной мощности, либо выключены.

- Двухступенчатые горелки: позволяют регулировать мощность в двух ступенях, что обеспечивает более гибкое управление процессом сгорания.

- Модулируемые горелки: обеспечивают плавное регулирование мощности в широком диапазоне, что позволяет точно поддерживать заданные параметры работы котлоагрегата.

## 1.5 Определение количества работающих горелок

Количество работающих горелок в котлоагрегате напрямую зависит от текущего расхода мазута и требуемой тепловой мощности. Для определения оптимального количества работающих горелок необходимо учитывать следующие факторы:

1. Тепловая нагрузка: Зависит от текущих потребностей в тепловой энергии. В периоды пиковых нагрузок может потребоваться задействование всех доступных горелок, тогда как в периоды низкой нагрузки часть горелок может быть отключена.

2. Расход мазута: Чем выше расход мазута, тем больше горелок должно быть задействовано для обеспечения необходимой тепловой мощности.

3. Давление мазута: Важный параметр, влияющий на эффективность работы горелок. При изменении давления мазута необходимо корректировать количество работающих горелок для поддержания стабильного процесса сгорания.

## 1.6 Влияние изменения мазута на работу горелок

Изменение давления мазута оказывает значительное влияние на работу горелок и эффективность процесса сгорания. Рассмотрим основные аспекты этого влияния:

1. Снижение давления мазута:

- Уменьшение распыления: При снижении давления мазута ухудшается распыление топлива, что приводит к образованию крупных капель и снижению эффективности сгорания.

- Необходимость увеличения количества горелок: Для компенсации снижения эффективности сгорания может потребоваться увеличение количества работающих горелок.

2. Повышение давления мазута:

- Улучшение распыления: Повышение давления мазута способствует более тонкому распылению топлива, что улучшает процесс сгорания и повышает тепловую эффективность.

- Снижение количества горелок: При повышении давления мазута можно сократить количество работающих горелок без ущерба для тепловой мощности котлоагрегата.

# Общие сведения о математических методах

В рамках данной бакалаврской работы используются аппроксимация, интерполяция, метод «скользящего окна» и кластеризация.

## 2.1. Нахождение промежуточных значений на основе известных значений (интерполяция)

Интерполяция — это метод математического анализа, используемый для нахождения промежуточных значений функции на основе известных значений. Проще говоря, интерполяция позволяет предсказать значения функции в точках, которые находятся между известными значениями. Этот метод широко используется в различных областях, таких как обработка сигналов, численные методы, компьютерная графика и многие другие.

Существует несколько методов интерполяции, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Вот некоторые из наиболее распространенных методов:

1. Линейная интерполяция:

- Самый простой и широко используемый метод.

- Предполагает, что промежуточные значения лежат на прямой линии, соединяющей два известных значения.

2. Полиномиальная интерполяция:

- Использует полиномы для нахождения промежуточных значений.

- Более точная, чем линейная интерполяция, но может быть подвержена эффекту Рунге (осцилляции) при использовании высоких степеней полиномов.

3. Сплайн-интерполяция:

- Использует кусочно-полиномиальные функции (сплайны) для интерполяции.

- Наиболее распространенный тип — кубические сплайны.

- Обеспечивает гладкость и непрерывность первой и второй производных.

4. Интерполяция методом ближайшего соседа:

- Самый простой метод, при котором значение в неизвестной точке принимается равным значению ближайшей известной точки.

- Подходит для дискретных данных, но не обеспечивает гладкости.

5. Интерполяция методом Лагранжа:

- Использует полиномы Лагранжа для нахождения промежуточных значений.

- Подходит для небольшого количества точек, так как вычислительная сложность растет с увеличением числа точек.

Определение оптимального подхода в сглаживания исходных графиков

## 2.2. Нахождение приближенных значений функции (аппроксимация)

Аппроксимация — это метод математического анализа, используемый для нахождения приближенных значений функции или данных на основе известных значений. В отличие от интерполяции, которая стремится точно восстановить промежуточные значения, аппроксимация направлена на нахождение функции, которая наилучшим образом описывает набор данных или поведение системы. Аппроксимация широко используется в численных методах, машинном обучении, обработке сигналов и других областях.

Существует несколько методов аппроксимации, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Вот некоторые из наиболее распространенных методов:

1. Линейная аппроксимация:

- Самый простой метод аппроксимации.

- Использует линейную функцию для приближения данных.

2. Полиномиальная аппроксимация:

- Использует полиномы для приближения данных.

- Более гибкая, чем линейная аппроксимация, так как позволяет учитывать нелинейные зависимости.

3. Аппроксимация сплайнами:

- Использует кусочно-полиномиальные функции (сплайны) для аппроксимации данных.

- Наиболее распространенный тип — кубические сплайны.

- Обеспечивает гладкость и непрерывность первой и второй производных.

4. Экспоненциальная аппроксимация:

- Использует экспоненциальные функции для приближения данных.

- Подходит для данных, которые демонстрируют экспоненциальный рост или спад.

5. Аппроксимация методом наименьших квадратов:

- Общий метод, используемый для нахождения коэффициентов аппроксимирующей функции.

- Минимизирует сумму квадратов отклонений между аппроксимирующей функцией и данными.

Почему используется аппроксимация?

Аппроксимация является важным инструментом в математическом анализе и численных методах. Вот несколько причин, почему она часто используется:

1. Упрощение сложных функций:

- Аппроксимация позволяет заменить сложные функции более простыми, что облегчает их анализ и вычисления.

- Например, сложные нелинейные функции могут быть аппроксимированы полиномами или линейными функциями.

2. Обработка шумных данных:

- В реальных данных часто присутствует шум, который затрудняет анализ.

- Аппроксимация позволяет сгладить данные и выделить основные тенденции.

3. Прогнозирование и экстраполяция:

- Аппроксимация используется для прогнозирования значений функции за пределами известных данных.

- Например, в экономике и финансах аппроксимация используется для прогнозирования будущих значений на основе исторических данных.

4. Оптимизация и моделирование:

- Аппроксимация играет важную роль в оптимизации и моделировании сложных систем.

- Например, в инженерии аппроксимация используется для моделирования физических процессов и оптимизации конструкций.

## Метод «скользящего среднего»

Метод «скользящего среднего» (Simple Moving Average, SMA) — это статистический инструмент, используемый для анализа временных рядов путём создания серии средних значений из различных подмножеств полного набора данных. Суть метода заключается в вычислении среднего значения набора данных за определенный период времени, который "скользит" по мере добавления новых данных. Этот метод широко применяется в финансах, экономике, метеорологии и инженерии для сглаживания краткосрочных колебаний и выделения долгосрочных тенденций из временных рядов.

Формула простого скользящего среднего для точки :

где ​ — текущее значение, а n — количество точек с каждой стороны от текущей.

Преимущества

1. Уменьшение шума: Скользящее среднее помогает уменьшить "шум" в данных, вызванный случайными колебаниями, и облегчает восприятие основных тенденций и моделей.
2. Простота и понятность: Метод скользящей средней прост в реализации и интерпретации, что делает его доступным для широкого круга пользователей, не обладающих специальными техническими знаниями.

Недостатки

1. Фазовое запаздывание: Из-за особенностей расчёта скользящие средние отстают от текущих значений, особенно при больших размерах окон.
2. Потеря данных на краях: На начале и конце временных рядов скользящее среднее не может быть рассчитано для всех точек из-за отсутствия достаточного количества предшествующих или последующих данных.
3. Неадаптивность: Скользящее среднее не адаптируется к изменениям в поведении данных, что может быть критично в случаях, когда в данных присутствуют важные экономические или финансовые события.

## 2.4. Кластеризация

Кластеризация — это метод анализа данных, который используется для группировки объектов в кластеры, так чтобы объекты внутри одного кластера были более похожи друг на друга, чем на объекты из других кластеров. Это один из ключевых методов машинного обучения и анализа данных, который находит широкое применение в различных областях, таких как маркетинг, биоинформатика, обработка изображений и многие другие.

Основные методы кластеризации

1. K-means:

- Один из самых популярных методов кластеризации.

- Алгоритм делит данные на \(k\) кластеров, минимизируя сумму квадратов расстояний между объектами и центроидами кластеров.

- Требует заранее заданного числа кластеров \(k\).

2. Иерархическая кластеризация:

- Делится на агломеративную (снизу вверх) и дивизивную (сверху вниз).

- В агломеративной кластеризации каждый объект начинается как отдельный кластер, и кластеры последовательно объединяются.

- В дивизивной кластеризации все объекты начинаются в одном кластере, который затем последовательно делится.

3. DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise):

- Основан на плотности данных.

- Может выявлять кластеры произвольной формы и справляться с шумом (выбросами).

- Не требует заранее заданного числа кластеров.

4. Gaussian Mixture Models (GMM):

- Предполагает, что данные генерируются из смеси нескольких гауссовых распределений.

- Использует метод максимального правдоподобия для оценки параметров распределений.

В вашем случае, когда центроиды уже заданы, вы используете метод, который можно назвать "кластеризация с фиксированными центроидами". Это действительно можно рассматривать как форму кластеризации, хотя и с некоторыми особенностями:

1. Фиксированные центроиды:

- В отличие от традиционных методов, где центроиды определяются в процессе кластеризации, здесь они заданы заранее.

- Это может быть полезно, когда у вас есть априорные знания о структуре данных или когда вы хотите использовать заранее определенные эталонные точки.

2. Евклидово расстояние:

- Вы используете евклидово расстояние для определения ближайшего кластера.

- Это стандартный подход в задачах кластеризации и классификации, особенно когда данные имеют метрическую структуру.

Применение в контексте котлоагрегата

Ваш подход к определению текущего режима работы котлоагрегата действительно можно рассматривать как форму кластеризации. Вот как это работает в вашем случае:

1. Режимная карта:

- Режимная карта содержит заранее определенные режимы работы котлоагрегата, которые можно рассматривать как центроиды кластеров.

2. Текущие параметры:

- Вы измеряете текущие параметры (паропроизводительность, давление, расход мазута) и сравниваете их с режимами из режимной карты.

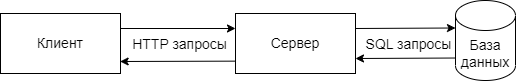
3. Определение ближайшего режима:

- Вы вычисляете евклидово расстояние между текущими параметрами и каждым из режимов.

- Режим с минимальным расстоянием считается текущим режимом работы.

# Реализация программы

Результатом написания программного решения является полноценное клиент-серверное приложение. Клиент-серверная архитектура представляет собой модель взаимодействия между двумя основными компонентами: клиентом и сервером. В этой модели клиент запрашивает ресурсы или услуги, а сервер предоставляет их.



Принципы работы клиент-серверной архитектуры

1. Запрос-ответ:

- Клиент отправляет запрос серверу, используя определенный протокол (например, HTTP/HTTPS для веб-приложений).

- Сервер обрабатывает запрос, выполняет необходимые действия (например, извлечение данных из базы данных) и отправляет ответ клиенту.

- Этот цикл запрос-ответ является основой взаимодействия в клиент-серверной архитектуре.

2. Разделение обязанностей:

- Клиент и сервер имеют четко определенные роли. Клиент отвечает за взаимодействие с пользователем и отправку запросов, а сервер — за обработку запросов и предоставление ресурсов.

- Такое разделение позволяет улучшить масштабируемость и управляемость системы, так как каждый компонент может быть разработан, развернут и масштабирован независимо.

3. Масштабируемость:

- Клиент-серверная архитектура позволяет легко масштабировать систему. Например, можно добавить больше серверов для обработки увеличенного числа запросов или использовать балансировщики нагрузки для распределения трафика.

- Масштабируемость также достигается за счет возможности горизонтального масштабирования, когда добавляются новые серверы, и вертикального масштабирования, когда увеличиваются ресурсы существующих серверов.

## 3.1 Серверная часть

Сервер — это программа, которая обрабатывает запросы от клиентов и предоставляет необходимые ресурсы или услуги. Серверы могут выполнять различные функции, такие как хранение данных, обработка бизнес-логики, аутентификация пользователей и многое другое. В данной работе для написания серверной части использовались язык программирования Java и библиотека Spring Framework.

## Java - это объектно-ориентированный язык программирования, широко используемый для разработки серверных приложений. Spring Framework - это мощная библиотека для разработки Java-приложений. Она предоставляет комплексные решения для создания веб-приложений. Для сохранения данных использовалась объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL.



Диаграмма классов

На данном рисунке представлена диаграмма классов, используемых в работе.

LocalDateTime – класс для сохранения даты и времени. Встроен в Java по умолчанию.

RawData – пользовательский класс. Отображает одну строку csv файла. Каждый объект этого класса принадлежит определённому котлоагрегату.

Coordinate – пользовательский класс для сохранения результатов вычисления количества работающих горелок. Каждый объект этого класса принадлежит определённому котлоагрегату.

BoilerHouse – пользовательский класс, котельная установка.

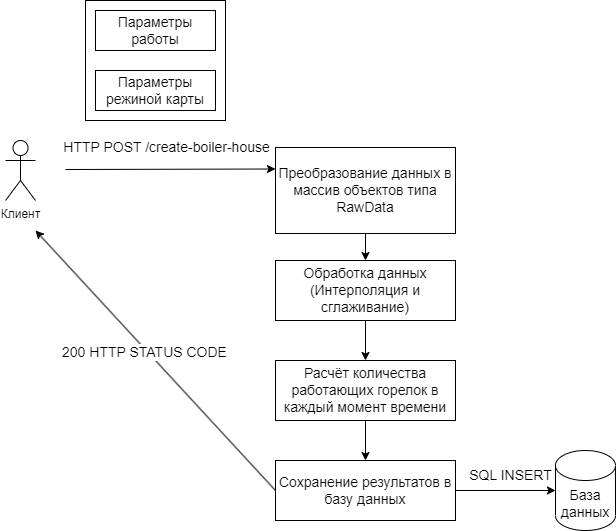


Диаграмма сохранения котлоагрегата

На данной диаграмме приведён алгоритм сохранения котлоагрегата. Клиент отправляет HTTP POST запрос на метод сервера /create-boiler-house, к которому прикрепляет csv файл с данными работы котлоагрегата за определённый промежуток времени и параметры режимной карты. После этого сохранения клиент в любой момент может открыть интересующий его котлоагрегат и посмотреть результаты вычислений.

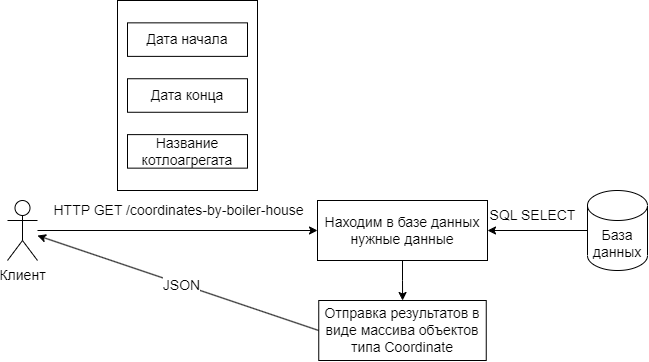


Диаграмма получения результатов вычислений

Как было сказано ранее, клиент может в любой момент посмотреть результаты вычислений сохранённый котлоагрегатов. Это позволяет в любой момент времени получить доступ к историческим данным. Получение данных реализуется с помощью HTTP GET запроса на метод сервера /coordinates-by-boiler-house. На клиент приходят данные в формате JSON для отрисовки результирующего графика.

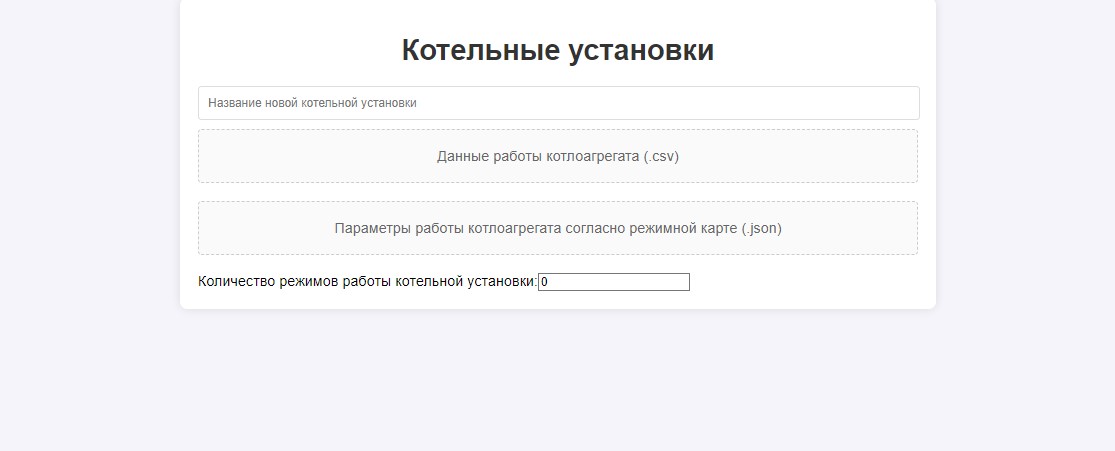
## 

## 3.2 Клиентская часть

Клиент — это устройство или программа, которая инициирует запросы к серверу. Клиенты могут быть различными: от веб-браузеров и мобильных приложений до специализированных программных решений. Клиенты обычно взаимодействуют с пользователем, предоставляя интерфейс для ввода данных и отображения результатов. В данной работе для написания клиентской части использовались язык программирования JavaScript и библиотека React.

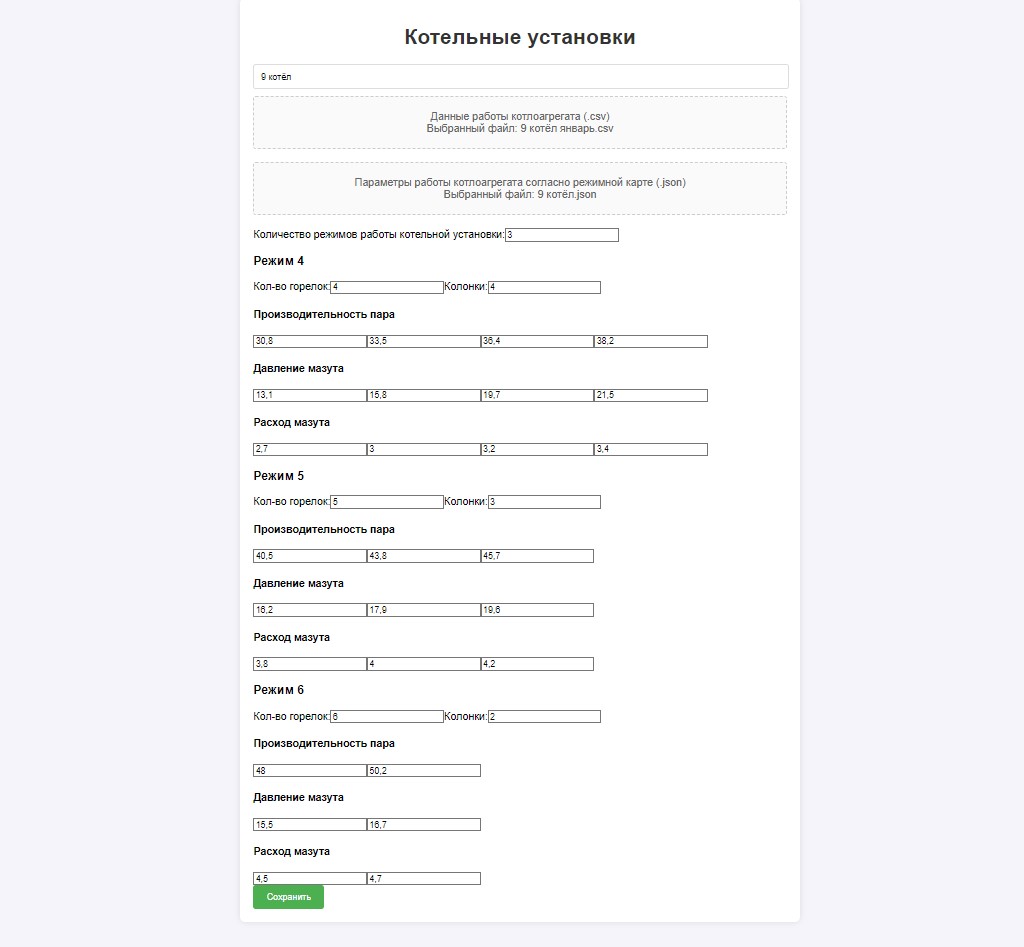
JavaScript - это язык программирования, используемый для создания интерактивных веб-страниц. React - это библиотека для создания пользовательских интерфейсов.

Алгоритм работы с клиентской частью.



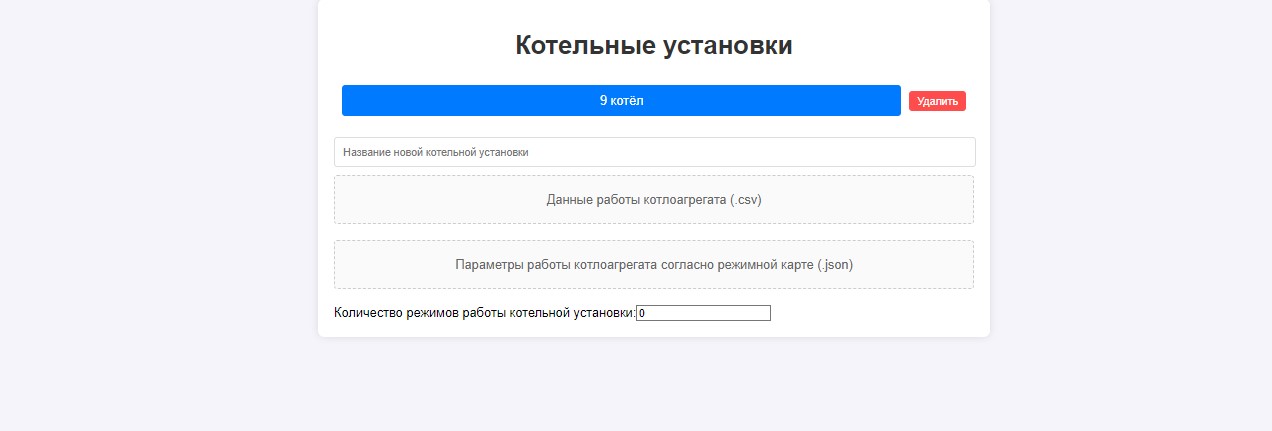
Главная страница

В первую очередь открывается главное меню. Здесь отображаются сохранённые ранее котлоагрегаты и формы для загрузки файлов с целью сохранения нового котлоагрегата.



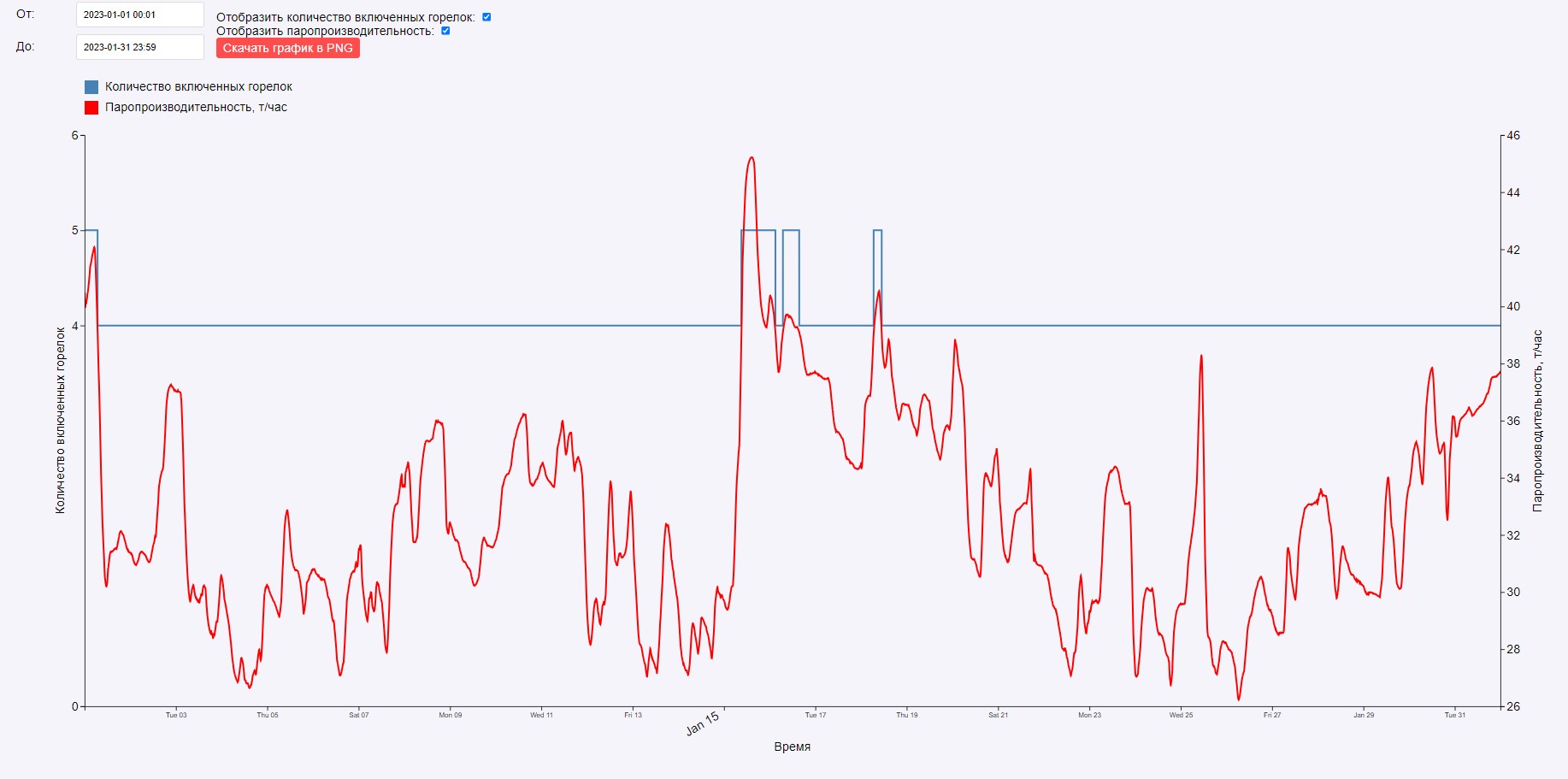
Процесс сохранения котлоагрегата

На данном рисунке приведён пример сохранения котлоагрегата. Мы выбрали нужный нам csv файл с данными работы котлоагрегата и json файл с параметрами работы (режимная карта). При необходимости можно изменить параметры работы в полях.



Результат сохранения котлоагрегата

На данном рисунке приведён результат сохранения котлоагрегата. Теперь он отображается в главном меню, где мы можем выбрать его и посмотреть результаты вычислений. Так же добавлена функциональность для удаления ненужных позиций.



Визуализация результатов вычислений

После завершения вычислений, результаты могут быть получены с сервера и отображены на графике. Для этого используются библиотеки для визуализации данных.

На данном рисунке приведена визуализация результатов сохранённого котлоагрегата. Клиенту предоставляется возможность выбирать определённые промежутки времени для отображения, так же имеется возможность опционального отключения отображения графика паропроизводительности или количества включенных горелок. По графику можно масштабироваться с целью лучшего рассмотрения конкретного промежутка. Помимо прочего, сверху интерфейса имеется кнопка для сохранения графика в PNG. Все графики данной работы были получены этим способом.

## Алгоритм определения количества работающих горелок

Исходные данные собираются с котлоагрегата с интервалом в одну минуту. Эти данные включают в себя довольно много параметров, в том числе интересующие нас: паропроизводительность, давление мазута и расход мазута. Данные представлены в виде таблицы, где каждая строка соответствует одному моменту времени.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Время | Давление мазута на котел №9, кг/ | Расход мазута в котёл №9, т/ч | Расход перегретого пара от котла №9 (факт.), т/ч |
| 01.01.2023 | 19,216 | 4,066 | 44,336 |
| 01.01.2023 0:01 | 19,219 | 4,066 | 44,215 |
| 01.01.2023 0:02 | 19,216 | 4,066 | 44,061 |
| 01.01.2023 0:03 | 19,216 | 4,067 | 43,958 |
| 01.01.2023 0:04 | 19,216 | 4,065 | 43,865 |
| 01.01.2023 0:05 | 19,216 | 4,066 | 43,799 |
| … | … | … | … |

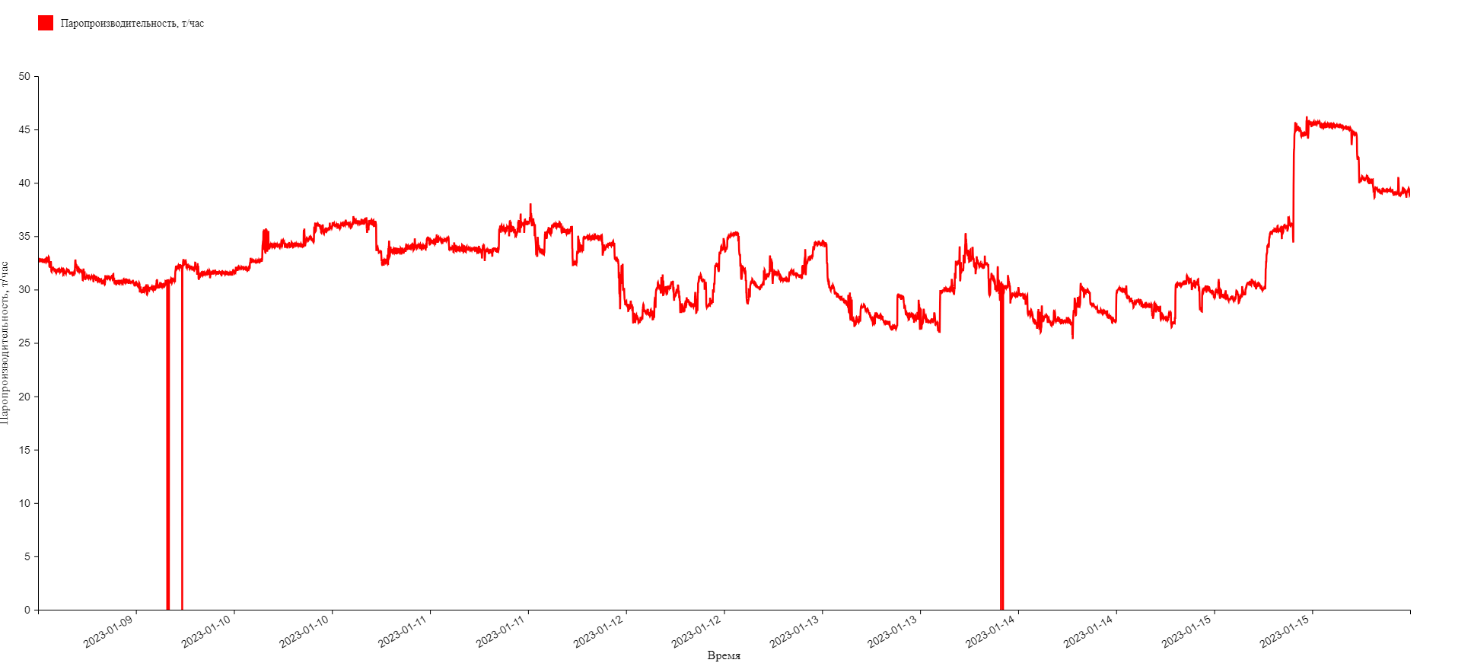
1. Обработка пропущенных и некорректных значений:

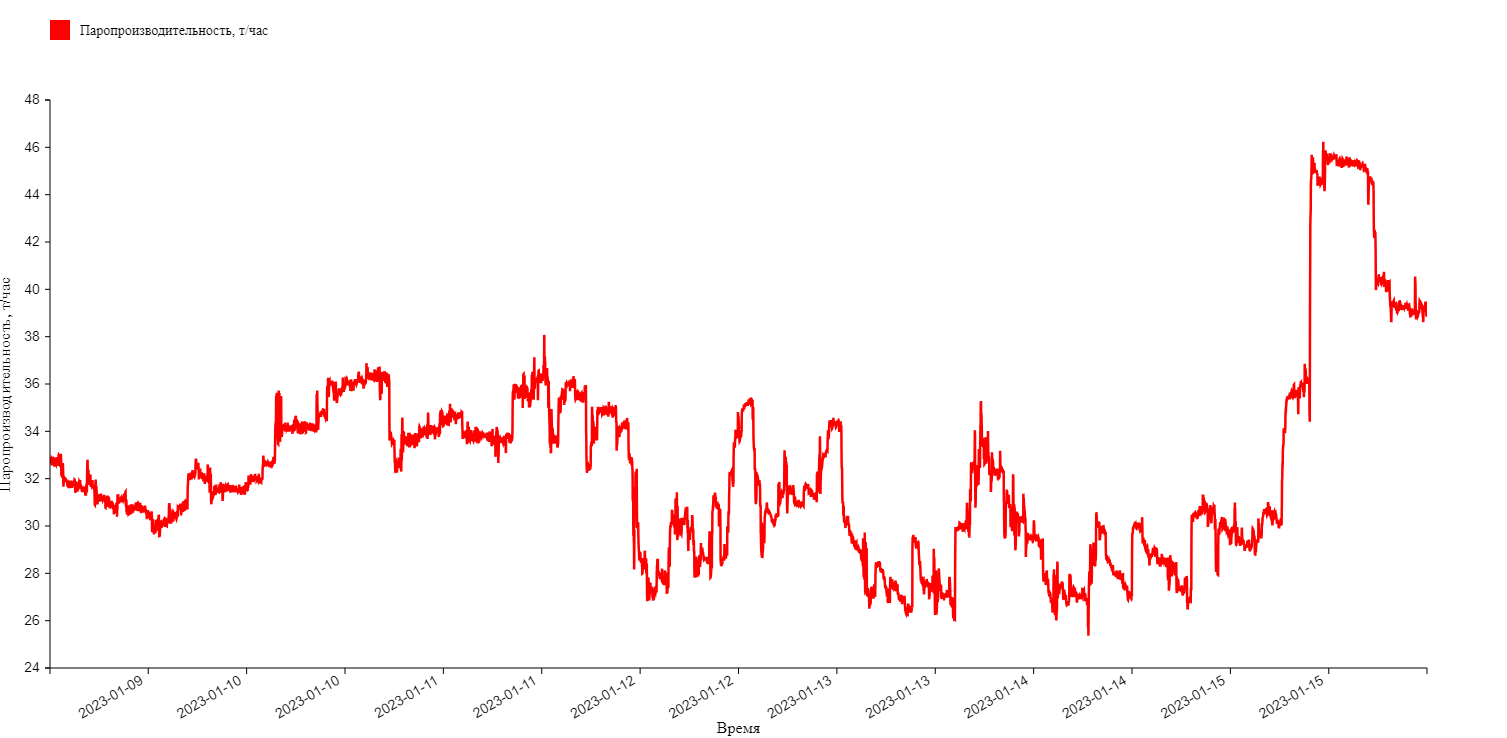
В данных могут встречаться пропущенные значения (NULL) и значения, равные 0.0 в те моменты времени, когда котлоагрегат работает на определённых мощностях.

Пример1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Время | Давление мазута на котел №9, кг/ | Расход мазута в котёл №9, т/ч | Расход перегретого пара от котла №9 (факт.), т/ч |
| 01.01.2023 | 19,216 | 4,066 | 44,336 |
| 09.01.2023 17:39 | 16,837 | 2,978 | 32,181 |
| 09.01.2023 17:40 | Null | Null | Null |
| 09.01.2023 17:41 | 16,837 | 2,978 | 32,119 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Время | Давление мазута на котел №9, кг/ | Расход мазута в котёл №9, т/ч | Расход перегретого пара от котла №9 (факт.), т/ч |
| 13.01.2023 21:52 | 15,1 | 2,8 | 30,028 |
| 13.01.2023 21:53 | 15,097 | 2,801 | 30,227 |
| 13.01.2023 21:54 | 15,094 | 0 | 0 |
| 13.01.2023 21:55 | 15,087 | 2,801 | 30,563 |
| 13.01.2023 21:56 | 0 | 0 | 30,593 |
| 13.01.2023 21:57 | 15,087 | 2,8 | 30,609 |



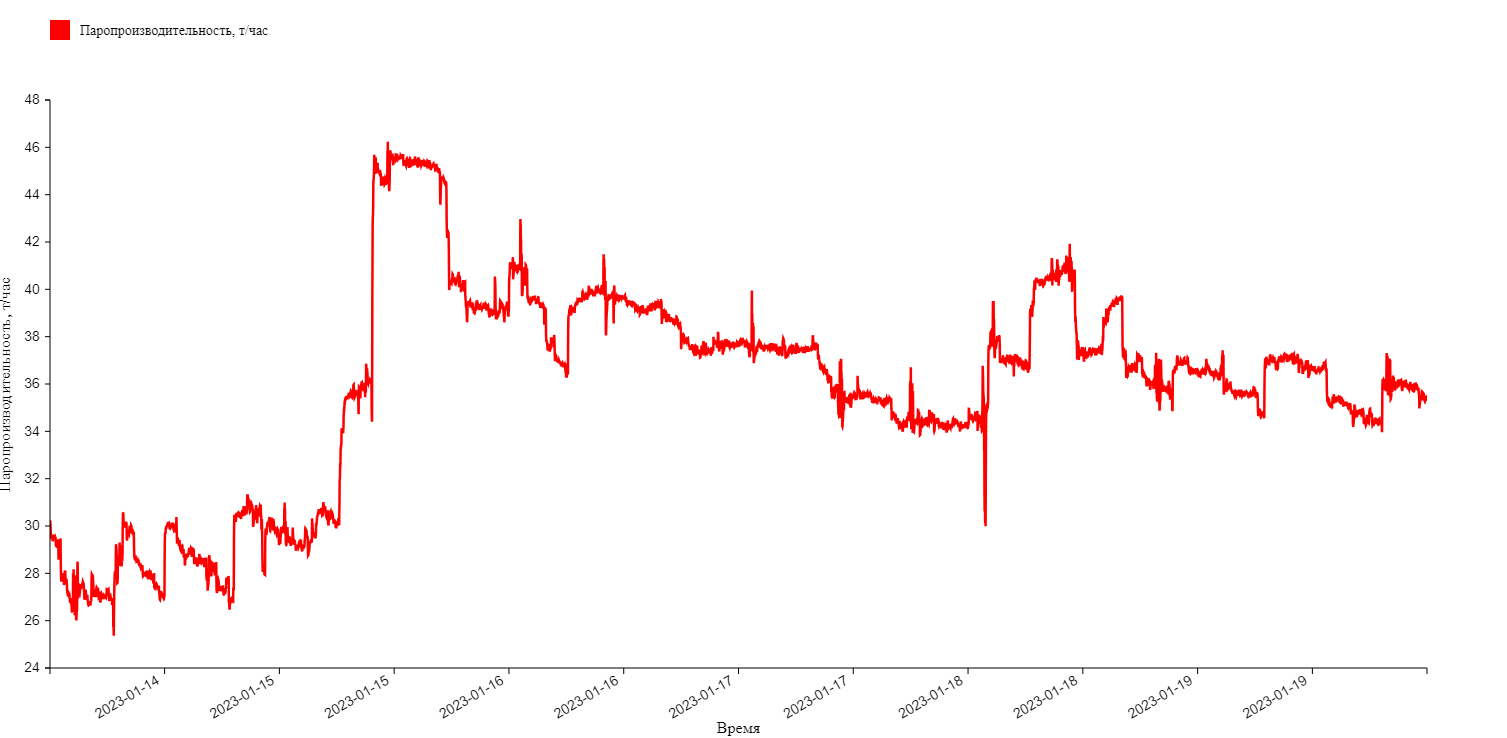


Такие значения очевидно являются результатом некорректной работы датчиков. Эти значения необходимо обработать, чтобы они не искажали дальнейший анализ.

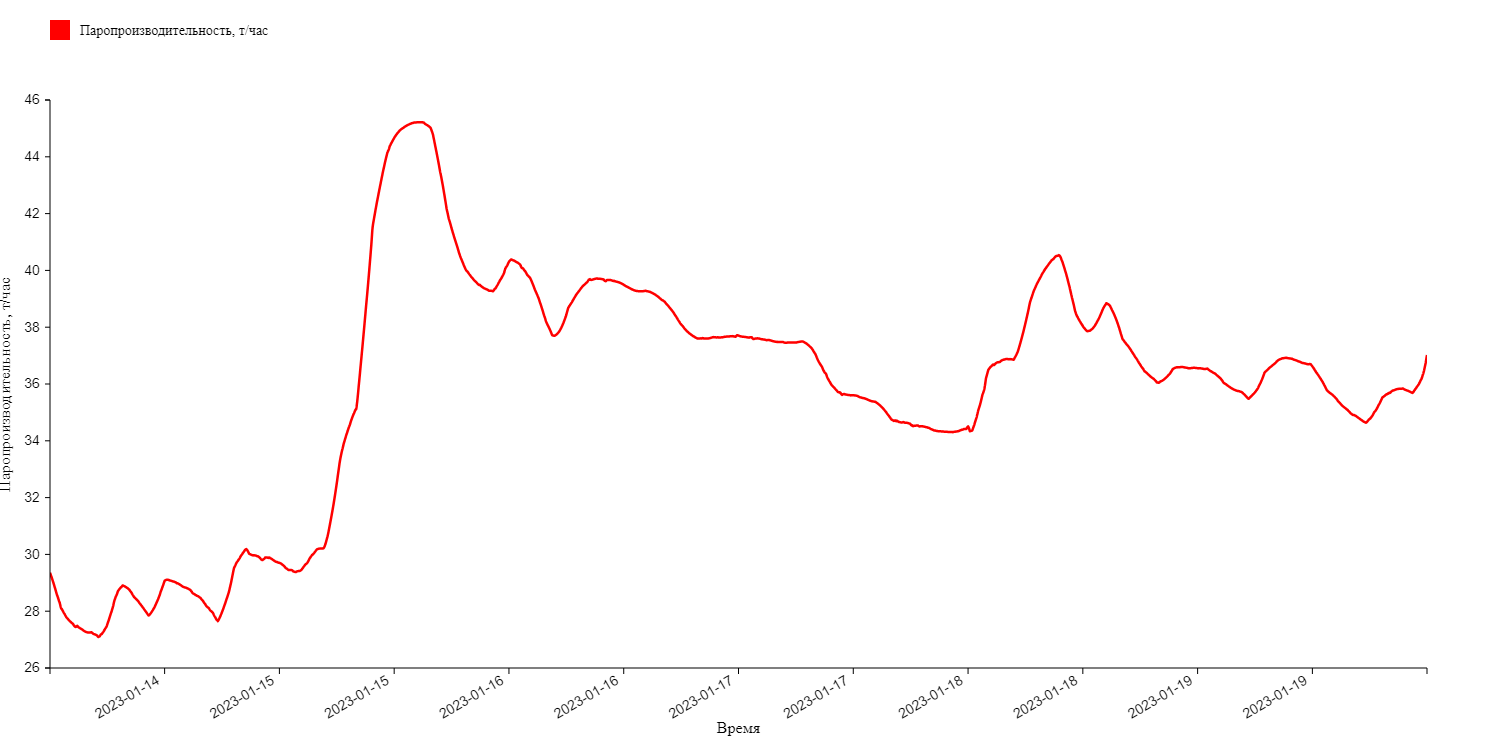
Пропущенные и некорректные значения заполняются с помощью линейной интерполяции. Интерполяция позволяет плавно восстановить недостающие данные, основываясь на соседних значениях. Это помогает компенсировать сбои в работе датчиков и получить более полные и корректные данные.

3. Сглаживание данных:

После интерполяции данные могут все еще содержать резкие скачки, которые негативно влияют на результаты анализа. Для сглаживания данных используется метод скользящего среднего.



Скользящее среднее вычисляется для каждого параметра (паропроизводительность, давление мазута, расход мазута) с заданным размером окна. Это позволяет уменьшить влияние случайных колебаний и получить более стабильные значения параметров.



4. Определение текущего режима работы:

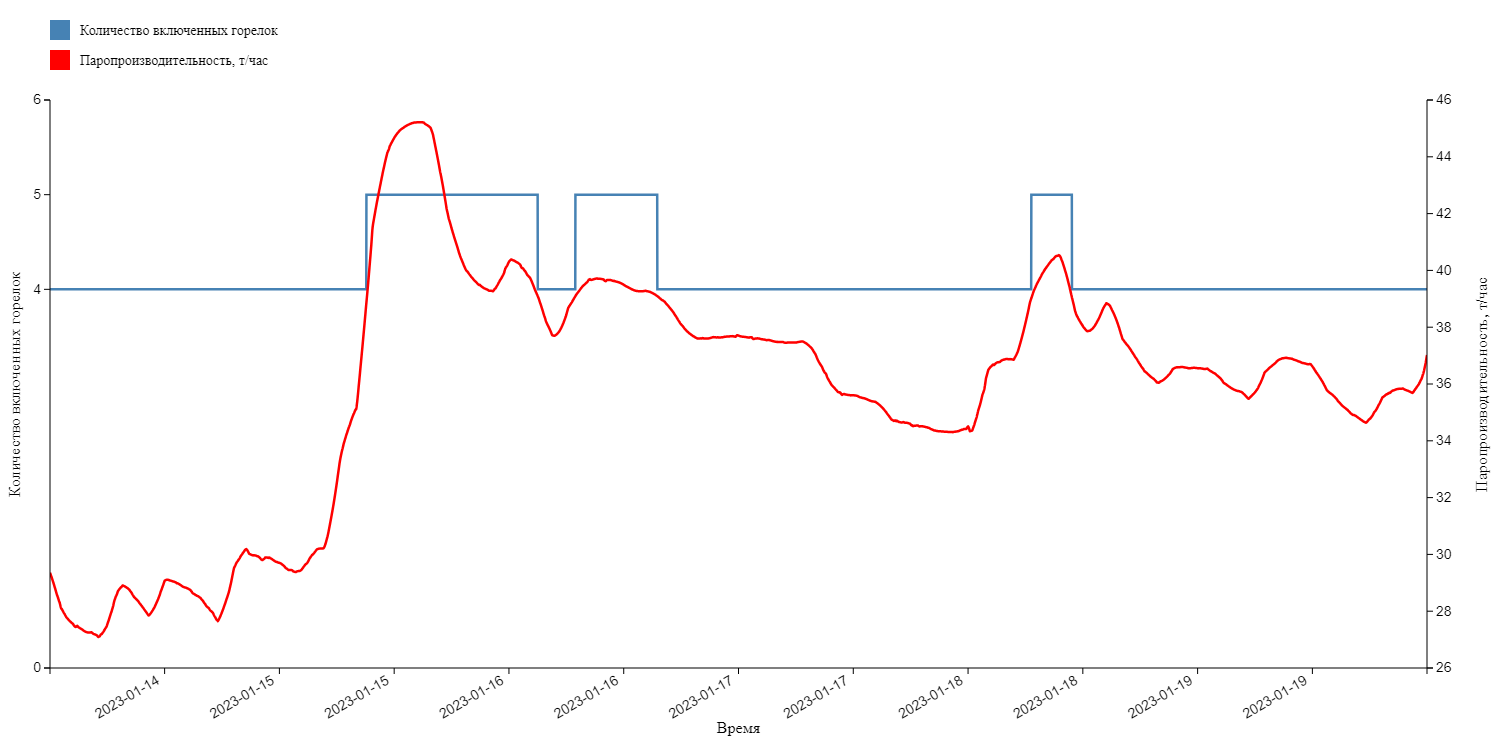
После сглаживания данных необходимо определить текущий режим работы котлоагрегата. Для этого используется метод кластеризации с заранее заданными центроидами.

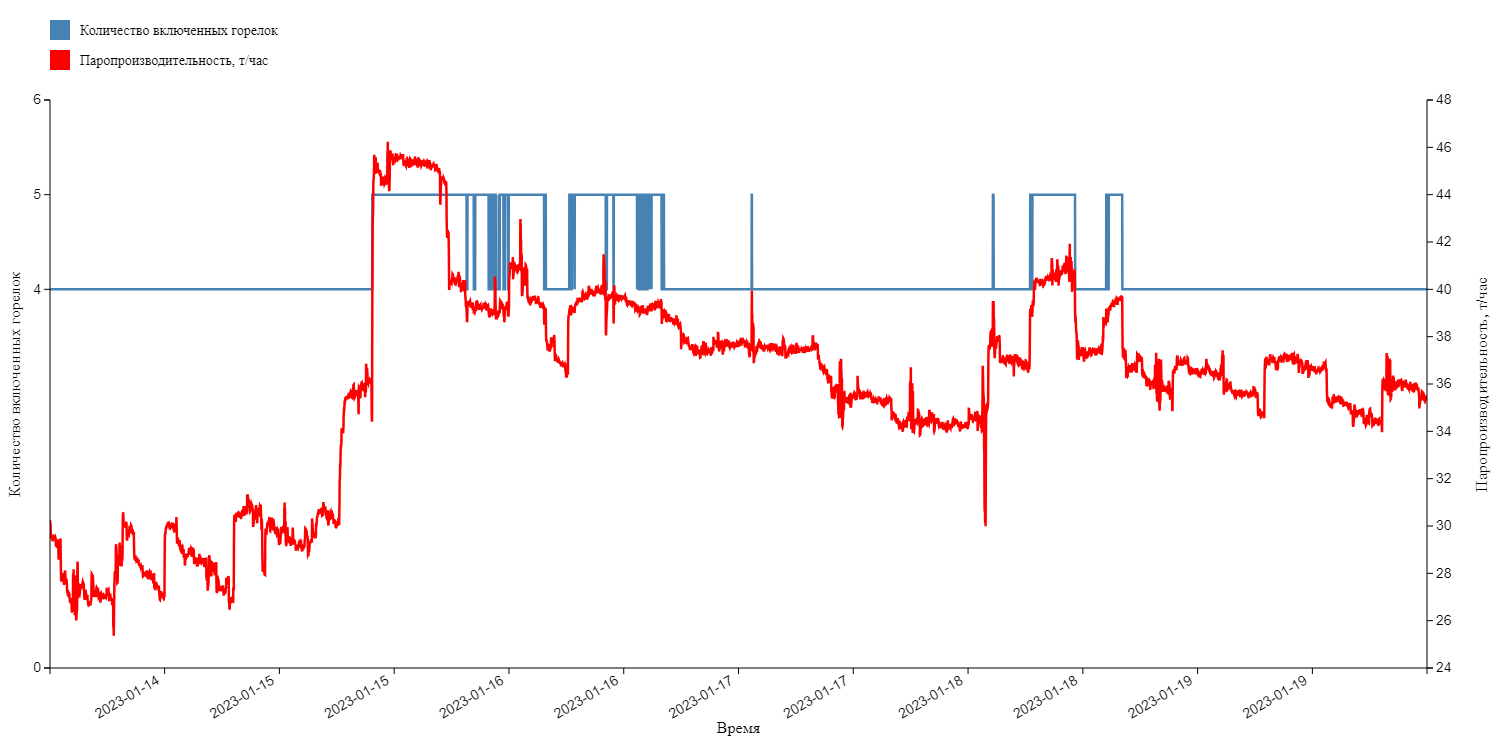
- Режимная карта содержит заранее определенные режимы работы котлоагрегата, которые можно рассматривать как центроиды кластеров. Каждый режим характеризуется определенными значениями паропроизводительности, давления мазута и расхода мазута.

- Для каждого момента времени вычисляются текущие параметры (сглаженные значения паропроизводительности, давления мазута и расхода мазута).

- Затем для каждого режима из режимной карты вычисляется евклидово расстояние между текущими параметрами и параметрами режима.

- Режим с минимальным евклидовым расстоянием считается текущим режимом работы котлоагрегата.





# Тестирование и оценка точности