

Диагностика присосов воздуха в вакуумную систему и тракт основного конденсата

Направление: Анализ телеметрии и техническая диагностика

Цель: Создать помощника обнаружения и локализации присосов воздуха по телеметрии турбоустановки и тракта основного конденсата.

Справка о компании: Сибирская генерирующая компания (СГК) производит электрическую и тепловую энергию и обеспечивает теплоснабжение городов. В её работе связаны эксплуатация электростанций, котельного и турбинного оборудования, обслуживание тепловых сетей. Компания развивает энергетическую инфраструктуру и реализует проекты по повышению надёжности оборудования и снижению воздействия на окружающую среду.

Задача участников

Разработайте помощник, который отличает присос воздуха от изменения режима и отказа датчика, показывает вероятную зону и объясняет тревогу. Проверьте прототип на независимых синтетических эпизодах и оцените условия экономического эффекта.

В обозначениях данных *train* — обучающая часть для настройки метода, *validation* — проверочная часть для выбора настроек, *test* — итоговая контрольная часть с ответами только у жюри. Данные одной независимой группы не разделяют между частями.

Precision — доля верных находок среди срабатываний, *recall* — доля найденных объектов среди всех искомых; *F1* объединяет эти два показателя, *macro-F1* — среднее *F1* по классам. Матрица ошибок (*confusion matrix*) показывает, какие классы перепутаны; покрытие (*coverage*) — доля примеров, для которых метод дал результат.

CAPEX — затраты на создание решения; *OPEX* — ежегодные расходы на его работу и обслуживание.

Код *unknown* означает, что результат не определён или данных недостаточно.

1 Что должен понять оператор

Изменение вакуума может быть связано с присосом воздуха, нагрузкой, охлаждающей водой, загрязнением поверхности теплообмена или измерительным каналом. Оператору требуется сообщение, которое показывает вероятную причину, область проверки, величину отклонения и приоритет разбора. Одно превышение давления не должно автоматически превращаться в найденное место негерметичности.

Цель СГК — диагностика присосов без останова, определение места и оценка степени/приоритета. Область проекта включает вакуумную систему и тракт основного конденсата. Предложите систему поддержки решения: измерения и нормальная модель, обнаружение/подтверждение, вероятная зона, объяснение и верификация специалистом. Прототип/расчёт не управляет реальным оборудованием и не выдаёт эксплуатационное разрешение.

2 Обязательное ядро и свободный метод

- Покажите связь доступных каналов с физическими причинами и какие помехи могут давать похожий отклик. Обоснуйте выбранную нормальную зависимость и обработку качества/пропусков.
- На общем наборе выдавайте наличие/отказ, вероятную зону или *unknown*, уверенность, *delta_p_kPa*, учебный приоритет и объяснение. Величина отклонения — остаток давления от вашей нормы; она не равна измеренному массовому расходу присоса.

- Проверьте ошибки, ложные тревоги, задержку и локализацию на независимой validation; для test сдайте результаты. Покажите случай, где нужна проверка/отказ, а не уверенная зона.
- Предложите точки измерения и независимое подтверждение причины, взаимодействие с оператором и план пилота. Создание пилотной системы — не более 6 месяцев; после него отдельный этап опытной эксплуатации 3 месяца. CAPEX пилота — до 15 млн руб.; это потолок, а не обязательные расходы. Турбина остаётся в работе, вмешательство в защиты и противоаварийную автоматику запрещено. Дополнительные датчики и способ безопасной установки требуют проверки специалистом; учебный набор не подтверждает возможность монтажа без останова.

Допустимы правила, статистическая модель, машинное обучение или комбинация. Код необязателен, если расчёт/процедура воспроизводимы на общих данных. Нельзя обещать промышленную точность по синтетике.

3 Общий синтетический сценарий

Состав	Условие общей проверки
Независимые серии	30, по 3 эпизода: train 18 серий / 54 эпизода; validation 6 / 18; test 6 / 18
Временная сетка	Шаг 10 с; длины эпизодов различны
Нормальная калибровка	Первые 180 с каждого эпизода подтверждены как нормальные; normal_calibration = 1
Каналы режима	Нагрузка, %; температура воды, °C; расход воды, м³/с
Диагностические каналы	Давление конденсатора и всасывания насоса, кПа абсолютного; давление после насоса, кПа избыточного; условный ток удаления воздуха; кислород до и после участка В; локальная акустика А/В/С
Проверяемые ситуации	Режим/вода, загрязнение, дрейф/залипание/пропуски, слабый/постепенный присос и совместные причины

Все численные сигналы приняты для учебного сценария. Каждая серия имеет свой нормальный отклик; серия целиком помещена в одну часть. События имеют разные времена и формы; доступные измерения используются для распознавания причин. В начале нового объекта доступны нормальные измерения для калибровки; это справедливый общий вход и для test. Причины train/validation размечены, test-ответы закрыты.

Объект проекта — Т-110/120-130 Красноярской ТЭЦ-2, номинальная электрическая мощность 110 МВт. Номер станции и марка конденсатора не заданы. Название турбины относится к объекту внедрения; учебная схема и синтетические измерения не являются его исполнительной документацией. Абсолютное давление конденсатора в кПа не равно давлению свежего пара и не подставляется из обозначения турбины.

Общая схема: А — вакуумный корпус и соединения конденсатора с выпуском турбины; В — сборник конденсата и линия всасывания конденсатного насоса; С — воздушные линии от конденсатора до сжимающего устройства системы удаления воздуха. Напорный тракт

основного конденсата после насоса включён в контроль: при подтверждённом избыточном давлении прямой присос атмосферного воздуха через стенку этого участка не предполагается. Это учебное деление по гидравлическим участкам, не разметка реального агрегата. Расположение зон и условные места учебных измерений показаны на учебной схеме установки в приложениях.

Одних общих давления и тока недостаточно для места утечки. В наборе выданы учебные измерения кислорода на выходе сборника до линии В и после насоса, давления на всасывании и напоре, локальные акустические индикаторы у А/В/С. Они имеют шум, фоновые помехи, пропуски и не дают гарантированной уникальности. Кислород требует учёта транспортной задержки и перемешивания; акустика — исключения механического шума. Совместный анализ даёт вероятную область; при неразличимости нужен unknown. Штатность и реальные места новых датчиков не утверждаются.

4 Материалы, результат и метрики

Приложения содержат временные ряды измерений, описание эпизодов, открытые ответы обучающей и проверочной частей и словарь полей. Формат результата: episode_id — номер эпизода; time_s — время, с; leak — обнаружен ли присос; zone — зона; confidence — уверенность; delta_p_kPa — отклонение давления от нормы, кПа; review_priority — приоритет проверки; reason — объяснение. Правила кодирования даны в описании данных. Приложите нормальную зависимость, правило подтверждения или отказа и пример операторского сообщения с измерениями.

На validation считайте precision/recall/F1 по срезам, ложные эпизодные тревоги, задержку/пропуски и долю правильной локализации среди всех истинных эпизодов присоса, включая пропуски/unknown. Единицу агрегации не смешивать. Для закрытого test сдавайте предсказания; метрики вычисляет жюри. Уверенный вывод по неисправному каналу и отказ на всех данных — разные проблемы, поэтому качество показывается вместе с покрытием.

5 Польза и экономика

Общая учебная база: предотвращённая потеря электрической мощности рассматривается как гипотеза 0 / 0,5 / 1 МВт на 100 ч/год. Тариф реализации 1,64 руб./кВт·ч; чувствительность 3,55 руб./кВт·ч показывается отдельно как иной экономический сценарий, а не заменяет базу. CAPEX, дополнительное обслуживание/проверки и время специалиста определите по собственному проекту с источником/явной оценкой. Горизонт 5 лет, без НДС/дисконтирования/остаточной стоимости.

Не считать каждый найденный эпизод предотвращённой потерей. Укажите, какие реальные измерения позволят подтвердить величину присоса, его вклад в потери и эффект ремонта. Экономические гипотезы и цена ложной тревоги/пропуска должны быть отделены от качества синтетического классификатора.

Проверьте экономическую реализуемость бюджета: общий энергетический сценарий не обязан окупать дорогое внедрение. Например, при собственной условной оценке CAPEX 0,5 млн руб. и OPEX 0,05 млн руб./год сценарий 1 МВт на 100 ч/год при 1,64 руб./кВт·ч даёт 0,164 млн руб./год валовой выгоды, 0,114 млн руб./год чистой и 0,070 млн руб. накопленного результата за 5 лет после CAPEX; при 0,5 МВт результат отрицателен. Это арифметический пример, не цена достаточного комплекта датчиков и не обещанная экономия. Для дорогих датчиков рассмотрите поэтапное использование существующей инфраструктуры и отдельно подтвердите дополнительные выгоды; нельзя подменять отсутствие окупаемости потолком бюджета.

6 Свободный выбор и развитие

Команда самостоятельно выбирает: состав используемых каналов и нормальная модель; правила, статистическая/обучаемая диагностика и подтверждение тревоги; определение места/unknown, приоритет и операторское сообщение.

Можно углубить ядро или выбрать полезное развитие. Примеры ниже необязательны и не образуют перечень бонусов.

- Перенос между режимами — Независимые режимные серии и сравнение ошибки нормальной зависимости/ложных тревог.
- Надёжность измерений — Тесты отказа/восстановления канала и проверяемая деградация уверенности.
- Цена и приоритет тревог — Объяснимое ранжирование с историей измерений и сценарной стоимостью проверки/пропуска.

7 Материалы, собственные данные и проверка

Общий демонстрационный набор и его разбиение описаны в приложении. Он нужен для одинаковой проверки; не предписывает алгоритм, оборудование или архитектуру проекта.

Разрешены открытые, собственные измеренные и синтетические дополнения с источником, единицами, допущениями и ограничениями. Общие исходные условия и проверочные сценарии сохраняются. Покажите, что изменилось благодаря дополнению, и отдельно сохраните результат на общей базе. Синтетические данные обозначьте как учебные и укажите их ограничения.

В проектной заявке и презентации представьте результат ядра, расчёт/демонстрацию и ограничения. Для расчётного проекта достаточно читаемой записки и схемы; для программного результата приложите инструкцию запуска и воспроизводимый пример. Дополнительные материалы служат проверке проекта и не меняют официальный состав заявки.

Жюри использует официальные критерии конкурса: 70 баллов на отборе и 80 в финале. Решения, полностью выполнившие ядро, различаются качеством доказательств, реализуемостью, переносимостью и экономическим обоснованием; совпадение с контрольным проектом и число расширений не требуются.

Расчетные допущения

- Численные параметры приняты для учебного сценария и не являются измерениями предприятия.

Приложения к задаче

Приложение	Для чего использовать
Временные ряды измерений	Измеряемые учебные каналы и нормальный калибровочный интервал.
Описание независимых серий и эпизодов	Группы независимых условий и разбиение.
Ответы для обучения и проверки	Доступные метки причинного события и зоны.

Приложение	Для чего использовать
Описание измерений и правил проверки	Словарь, группировка, причинные ограничения, форматы и метрики.
Учебная схема установки	Расположение зон А, В, С и условных мест учебных измерений; связь каналов телеметрии с элементами вакуумной системы и тракта конденсата. Упрощённая схема, не исполнительная документация объекта.
Общие исходные условия	Общая база проверки собственного решения

Общие требования конкурса

Решение оформляется проектной заявкой и презентацией по приложениям 4 и 8 положения. Презентация: PDF, не более 16 слайдов и 25 МБ. На финале доклад до 10 минут и вопросы до 5 минут.