
УДК 621.316

С.В. КИЛЬЧАНОВ, студент гр. ТФ-06м-20 (НИУ МЭИ),
В.А. АГИБАЛОВ, студент гр. ТФ-06м-20 (НИУ МЭИ),
А.С. ПОМОГАЕВ, студент гр. ТФ-06м-20 (НИУ МЭИ)
Научный руководитель А.А. КОРШИКОВА, к.т.н.,
г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Развитие энергетики в направлении цифровизации - сегодня стратегическое направление в деятельности большинства энергетических компаний и предприятий во всем мире. В основе работы лежит «Дорожная карта», одобренная Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации и инновационному развитию России, одной из целей которой является принятие разномаштабных комплексных систем и сервисов цифровой энергетики к 2035 году.

Цифровизация в энергетике начинается с внедрения на энергоблоках киберфизических систем, в частности систем мониторинга и диагностики. Одной из основных является задача своевременного определения условий возникновения аномальных (аварийных и предаварийных) ситуаций работы объектов энергетики. Важно выявить причины возникновения неполадки и аварии на ранних стадиях их возникновения, для нормальной и безаварийной эксплуатации теплотехнического оборудования.

Объект исследования. В качестве объекта рассматривается конденсационная установка, входящая в состав оборудования турбоагрегата К-800-240-5 включающая в себя конденсационную группу 800 КЦС-5.[2] Конденсационная группа представляет собой два кожухотрубчатых теплообменника с поверхностью охлаждения одного корпуса- 20600 м²; числом ходов по воде - 1; температура циркуляционной воды на выходе +12°С; средним давлением конденсатора- 3.43 кПа. [3] Данный объект является важным для проведения предиктивной диагностики, так как эксплуатационное состояние конденсатора паротурбинных установок оказывает существенное влияние на показатели эффективности работы конденсатора, а также на экономичность турбоустановки и себестоимость выработки электроэнергии. В качестве данных для анализа будут использоваться выборку, собранную при работе турбоагрегата регистрируемые каждый час в течении 2018 и 2019 года с некоторыми перерывами.

Выбор параметров участвующих в анализе. По правилам технической эксплуатации ТЭС и тепловых сетей устанавливаются требования к условиям эксплуатации конденсатора, включающих контроль над: уровнем конденсата и работой устройств автоматического поддержания уровня; температурным напором, расходом и нагревом охлаждающей воды; гидравлической плотностью по качеству конденсата (солесодержанию), а так же отводом неконденсирующихся газов из парового пространства. Из множества снимаемых и контролируемых параметров выделю и рассчитаю характеризующие состояние исследуемого объекта:

- $dT_{\text{кндр}}$ -температурный напор в конденсаторе;
- К-коэффициент теплопередачи;
- $N_{a_ген}$ -активная мощность генератора.

«Классический» метод анализа. Классический метод анализа заключается в расчете и дальнейшем анализе величин, с помощью которых можно наиболее точно описать состояние технологического оборудования. Рассчитаю коэффициент теплопередачи и сравню рассчитанные показатели характеризующие состояние исследуемого объекта с определенными границами режимов : номинальным, предаварийным и аварийным режимом работы оборудования. При анализе данных полученных с помощью эксперимента удалось определить выход оборудования в аварийное состояние , но при этом методе невозможно быстро анализировать большие массивы данных, а так же требуется экспертное мнение для определения режима работы.

Методы машинного обучения. Суть метода состоит в применении алгоритма машинного обучения с учителем, на базе метода потенциальных функций для решения задачи классификации в частности, для определения отклонения от режима нормальной эксплуатации конденсатора

Для нормализации разнотипных данных использую минимаксную оптимизацию. На основании расчета коэффициента теплопередачи и мнения экспертов, данные могут быть разделены на обучающую выборку- первые 60% исследуемых данных (множество нормального функционирования) и тестирующую выборку- следующие 40% данных в которых возможно имеются отклонения от нормального режима функционирования, точка в момент времени t_i будет иметь координаты $P1(t_i), P2(t_i), i=1, \dots, m$ (m -количество показателей) и образуя точку $T(t_i)$.

Свяжу с каждой точкой из этого множества некоторую функцию, аналогичную по форме электрическому потенциалу, т.е. максимальный потенциал будет находиться в точке-источнике и убывать по всем направлениям от нее. В качестве функции-потенциала буду использовать:

$$\varphi(R) = \frac{W}{1 + R^2} \quad (1)$$

где:

W- коэффициент, вес точки.

R- расстояние между точкой-источником и точкой, в которой измеряется потенциал.

Рассчитаю расстояние между точкой-источником и точкой, в которой вычисляется потенциал по (2):

$$R = \sqrt{\sum (P_{ik} - P_{jk})^2} \quad (2)$$

где: $i=(1, \dots, m)$; $k \in (1, N_n)$, N_n – количество точек образующих множество нормального функционирования; $j=(1, \dots, T)$, где T-отметки времени.

Определю потенциал i-ой точки относительно j-ой точки обучающего множества по (1). Определю средний потенциал (3)- суммарный потенциал, деленый на число точек потенциала нормального функционирования. Он характеризует близость определенной точки ко всему множеству в целом.

$$\varphi^{cp}(t_k) = \frac{1}{N_n} \cdot \sum_{i=1}^{N_n} \varphi(R) \quad (3)$$

Найду минимальное значение среднего потенциала для обучающего множества. Минимальное значение среднего потенциала обучающего множество будет характеризовать условие, если значение потенциала $\varphi(R)$ тестирующего множества окажется меньше чем значение $\varphi^{min} = \min(\varphi^{cp}(t_k), k \in (1, N_n))$, то можно считать, что диагностируемое технологическое оборудование вошло в аномальную зону функционирования.

На Рис.1. построена плоскость тестирующей выборки. Для каждой точки тестирующего множества определю расстояние от нее до всех точек обучающего множества по (4), где P_{jk} -обучающее множество точек. Также, для каждой точки тестирующего множества определю потенциалы относительно всех точек обучающего множества по (1) и найду средний потенциал для каждой точки тестирующего множества относительно всех.

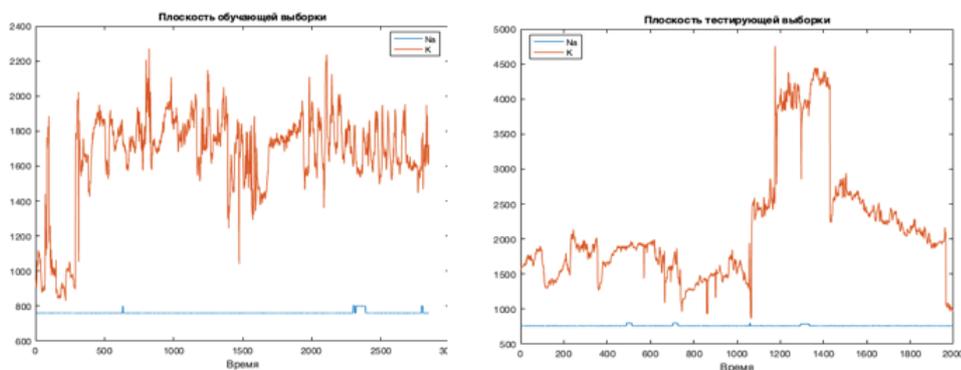


Рис. 1. Плоскость обучающей выборки

В результате работы алгоритма, рассчитывается множество точек, которые выходят в аномальную зону работы конденсатора, вырабатывается критерий аномальности φ_{min}^{cp} , который вычисляется при обучении модели, строятся графики, на которых можно наглядно увидеть результат обучения и вычисления потенциала в любой точке тестирующего множества. График тестирования модели представлен на Рис.2.

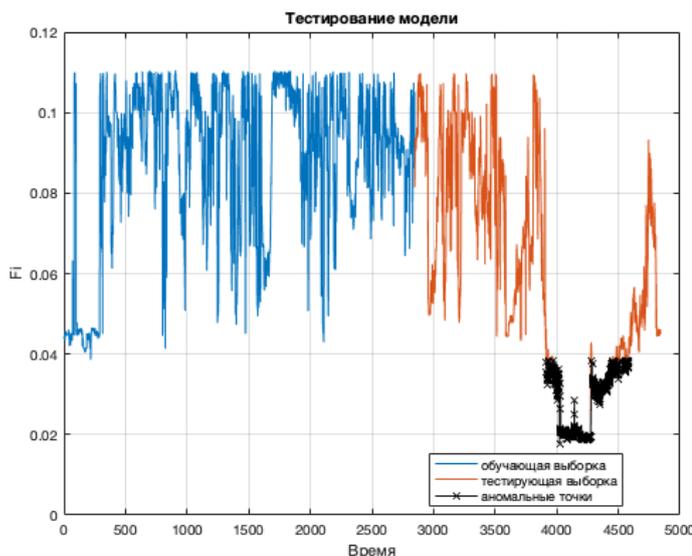


Рис. 2. Тестирование модели

Результаты выявления точек аномального режима работы «классическим» методом и алгоритмом предиктивной аналитики, основанного на методе потенциальных функций представлен на Рисунке- 3. В результате анализа двумя способами выявлено: 693 аномальных точек «классическим» способом и 579 аномальных точек методом предиктивной аналитики, среди них оказалось 570 общих точек

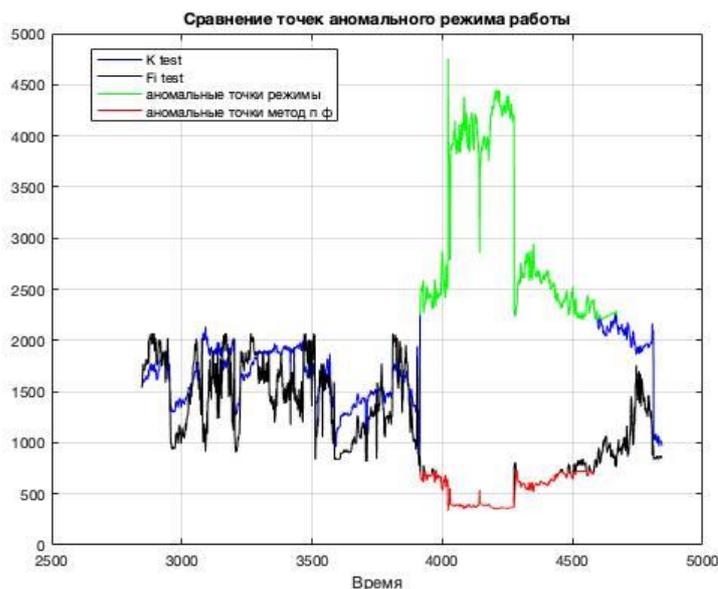


Рис. 3. Сравнение точек аномального режима работы

В итоге видно, что метод машинной диагностики на три часа раньше замечает отклонение в сторону аномального режима, а далее почти повторяет определенные «классическим» методом точки аномального режима работы, но классический метод не учитывает изменений других величин, а может только сигнализировать при выходе за определенное значение (уставку) предсказываемой величины. В то время, как метод предиктивной аналитики, при помощи анализа не только предсказываемой величины, но и массивов вспомогательных величин, может более точно «предсказывать» выход в аномальную зону работы технологического оборудования, в данном случае- конденсатора.

«Классический» способ более трудоемок и постоянно требует мнение эксперта. Метод предиктивной аналитики не требует постоянного мнения эксперта, необходимо один раз обучить модель и дальше, она в автоматическом режиме будет «предсказывать» нормальный или аномальный режим работы, основываясь на дополнительных величинах.

Список литературы:

1. Г. М. Борисов. Параметры диагностирования эксплуатационного состояния конденсатора паротурбинной установки
2. Инструкция по эксплуатации паровой турбины К-800-240-5 (<https://vunivere.ru/work52252>)
3. СТО 70238424.27.040.014-2009 Турбина паровая К-800-240-5 ЛМЗ. Технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования.

4. Методические указания по эксплуатации конденсационных установок паровых турбин электростанций РД 34.30.501 (му 34-70-122-85).

Информация об авторах:

Кильчанов Сергей Викторович, студент гр.ТФ-06м-20, НИУ МЭИ,
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, KilchanovSV@mpei.ru

Агибалов Владимир Алексеевич, студент гр.ТФ-06м-20, НИУ МЭИ,
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, AgibalovVA@mpei.ru

Помогаев Александр Сергеевич, студент гр.ТФ-06м-20, НИУ МЭИ,
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, RomogaevAS@mpei.ru

Коршикова Александра Андреевна, к.т.н., НИУ МЭИ, 111250, г. Москва, ул.
Красноказарменная, д. 14, korshikova@inctrl.ru