

ПРЕДИКТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.Н. Шигаева, С.Д. Хромов, А.В. Проничев

Филиал Самарского государственного технического университета, Новокуйбышевск, Россия

Обоснование. В работе освещен подход к прогнозированию технического состояния трансформатора с использованием методов машинного обучения. В ходе работы проведена предиктивная диагностика трансформаторного оборудования на основе линейной регрессии и градиентного бустинга над решающими деревьями. Полученные метрики качества позволяют судить о принципиальной возможности использования рассмотренного метода для решения как данной, так и смежных задач, связанных с прогнозированием состояния трансформатора.

Цель — главной задачей данной работы стало повышение надежности работы энергосистемы за счет снижения рисков аварийных отказов оборудования и сокращения числа отключений потребителей; обзор методов мониторинга и диагностики трансформаторного оборудования мы постараемся предсказать индекс технического состояния трансформатора методами машинного обучения.

Методы. В рамках данной работы методами машинного обучения решалась задача регрессии. Целевой переменной был взят индекс технического состояния [1]. В качестве признаков использовали показания датчиков аналогичных тем, что были рассмотрены ранее. Обучение проводилось на основе исторических данных их открытых источниках (табл. 1). Имеющиеся данные мы разделили на обучающую и валидационную выборку [2, 3]. Далее были рассмотрены различные подходы к решению задачи. А именно алгоритмы K ближайших соседей, линейные регрессии, деревья решений, случайный лес, а также алгоритмы градиентного бустинга [4, 5].

Таблица 1. Данные из открытых источников

	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Methane	CO	CO2	Ethylene	Ethane	Acetylene	DBDS	Power factor	Interfacial V	Dielectric rigidity	Water content	Health index	Life expectation
0	2845	5860	27842	7406	32	1344	16684	5467	7	19.0	1.00	45	55	0	95.2	19.0
1	12886	61	25041	877	83	864	4	305	0	45.0	1.00	45	55	0	85.5	19.0
2	2820	16400	56300	144	257	1080	206	11	2190	1.0	1.00	39	52	11	85.3	19.0
3	1099	70	37520	545	184	1402	6	230	0	87.0	4.58	33	49	5	85.3	6.0
4	3210	3570	47900	160	360	2130	4	43	4	1.0	0.77	44	55	3	85.2	6.0
...
465	15	227	52900	3	60	853	3	84	0	0.0	1.00	32	56	28	13.4	51.0
466	15	334	47100	3	64	622	3	108	0	0.0	1.00	32	55	12	13.4	51.0
467	15	1280	35000	2	675	2530	0	0	0	5.0	0.30	45	58	8	13.4	6.5
468	15	169	50600	5	77	532	0	72	0	0.0	1.21	33	54	11	13.4	51.0
469	15	308	39700	3	64	581	5	27	0	0.0	1.00	32	60	18	13.4	51.0

После этого мы создали объект модели, обучили его и сделали предсказание. Для каждой модели были рассчитаны метрики качества. Рассчитав метрики у нас получился неудовлетворяющий коэффициент детерминации. Попытались обучить дерево решений, сделали предсказание, рассчитали метрики и наш коэффициент вновь остался неудовлетворительным, но ошибка снизилась. Далее мы посчитали случайный лес и воспользовались самым действенным способом — модель градиентного бустинга на решающих деревьях. И по мнению *cat boost* (кэт буст), наиболее важными параметрами для трансформатора у нас оказались показатели, представленные в табл. 2.

Таблица показывает точность предсказания данных, и, как мы можем заметить, наиболее удачным является метод случайного леса, так как он показал наиболее точный результат из всех остальных (табл. 3).

Таблица 2. Наиболее важные параметры для предсказания состояния трансформатора

index	Feature	importance
14	Life expectation	29.514998729645846
9	DBDS	18.043444661458906
0	Hydrogen	6.422319345183539
3	Methane	6.3625888005721585
8	Acethylyene	6.317627123715898
5	CO2	4.594964987615428
10	Power factor	4.432251481407948
12	Dielectric rigidity	3.6255340616366323
1	Oxigen	3.487586745275025
2	Nitrogen	3.4504856386714193
6	Ethylene	3.2321061371768525
4	CO	3.08922475386142
11	Interfacial V	2.9919693874162534
13	Water content	2.6160022830909293
7	Ethane	1.8188958632717465

Таблица 3. Сравнительная таблица методов машинного обучения

Метод	MSE	MAE	R2-score
K-ближайших соседей	13.291489361702126	318.69486997635937	0.06947588905448343
Решающее дерево	4.845913803348184	61.05195504271952	0.8217407258804437
Случайный лес	4.782414893617028	69.35363954255318	0.7975014979658841
Градиентный бустинг	5.416694426507016	72.85859807843195	0.7872677329048354

Вывод. Оценка фактического состояния силовых трансформаторов по результатам диагностических измерений — на сегодняшний день сложная и актуальная задача. Трансформаторы с незначительными дефектами можно эксплуатировать еще в течение многих лет. При дальнейшей эксплуатации, особенно при повторных близких КЗ, вероятен аварийный выход трансформатора из строя. Избежать этого поможет своевременная диагностика состояния изоляции трансформаторов на предмет обнаружения деформаций.

Ключевые слова: машинное обучение; линейная регрессия; градиентный бустинг; решающие деревья; выборка.

Список литературы

1. Давиденко И.В. Оценка технического состояния силовых трансформаторов по результатам традиционных испытаний и измерений. Екатеринбург: УрФу, 2015. 96 с.

2. Михеев Г.М. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования. Москва: Додэка XXI, 2010. 293 с.
3. studmed.ru [Электронный ресурс]. Аксенов Ю.П. Методические указания по диагностике силовых трансформаторов. Доступ по ссылке: https://www.studmed.ru/view/aksenov-yup-metodicheskie-ukazaniya-po-diagnostike-silovyh-transformatorov-avtotransformatorov-shuntiruyuschih-reaktorov-i-ih-vvodov_489f932b9ba.html?page=3
4. Сапожников А.В. Конструирование трансформаторов. Москва: Госэнергоиздат, 1959. 361 с.
5. Силовые трансформаторы. Справочная книга / под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. Москва: Энергоиздат, 2004. 614 с.

Сведения об авторах:

Анастасия Николаевна Шигаева — студентка, группа 15-НФ20, кафедра «Электроэнергетика, электротехника и автоматизация технологических процессов»; Самарский государственный технический университет, филиал в Новокуйбышевске, Россия. E-mail: shigaeva.a@icloud.com

Сергей Дмитриевич Хромов — студент, группа 13-НФ20, кафедра «Электроэнергетика, электротехника и автоматизация технологических процессов»; Самарский государственный технический университет, филиал в Новокуйбышевске, Россия. E-mail: serg123377@gmail.com

Артем Валерьевич Пронищев — научный руководитель, ассистент кафедры «Электроэнергетика, электротехника и автоматизация технологических процессов»; Самарский государственный технический университет, филиал в Новокуйбышевске, россия.
E-mail: Pronichev.AV@bk.ru