Официальный сайт ЗАО "ФЕНИКС-88"
fenix88.com

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПО СТАТИСТИКЕ ХАРГ

В.М. Левин, Д.В. Кузьмина

Новосибирский государственный технический университет

Предложена методика распознавания дефектных силовых трансформаторов и *оценки показателей их эксплуатационной* надежности *по результатам ХАРГ с использованием дискриминантной функции и методов математической статистики. Показана необходимость учета в моделях важнейших эксплуатационных факторов для повышения достоверности диагноза.*

Распознавание дефектных силовых трансформаторов. Повышение достоверности диагностики развивающихся дефектов в силовых трансформаторах (СТ) по результатам ХАРГ обеспечивается применением моделей на основе дискриминантных (весовых) функций для распознавания классов возможных состояний объекта [1,2].

В основу методики положено использование дискриминантной функции вида

$$G(A) = \sum_i \mathsf{w}_i \cdot a_i + \mathsf{w}_0,$$

где: a_i - относительные концентрации диагностических газов, выделенных из пробы масла, i=1÷7; w_i - вес i-го газа, характеризующий его относительное содержание в составе газовой смеси; $\mathsf{w}_0 \geq 0$ постоянный коэффициент, для преобразования векторного пространства признаков – $\boldsymbol{A}$ (измеренных концентраций диагностических газов) в плоскость состояний СТ.

Применение статистического анализа пространства признаков позволяет произвести разделение множества возможных состояний СТ на два подмножества: $\mathbf{\Pi_1}$ – нормально работающих (бездефектных) и $\mathbf{\Pi_2}$ – с отклонениями от нормы (дефектных) и определить границу раздела классов: $G_{\text{ГР}} = M_G + 2 \cdot \mathsf{s}_G$. Здесь: M_G, s_G - математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины G, распределенной

по нормальному закону. Распознавание дефектных СТ производится по критерию $G \geq G_{\text{ГР}}$, причем его использование вместо критерия граничных концентраций позволяет существенно снизить погрешность распознавания и сократить количество повторных ХАРГ у СТ, направленных на учащенный контроль согласно рекомендаций РД 153-34.0-46.302-00 [3].

В качестве иллюстрации рассмотрим пример распознавания состояния СТ по критериям РД 153-34.0-46.302-00 (табл. 1,2) и с применением разработанной методики .

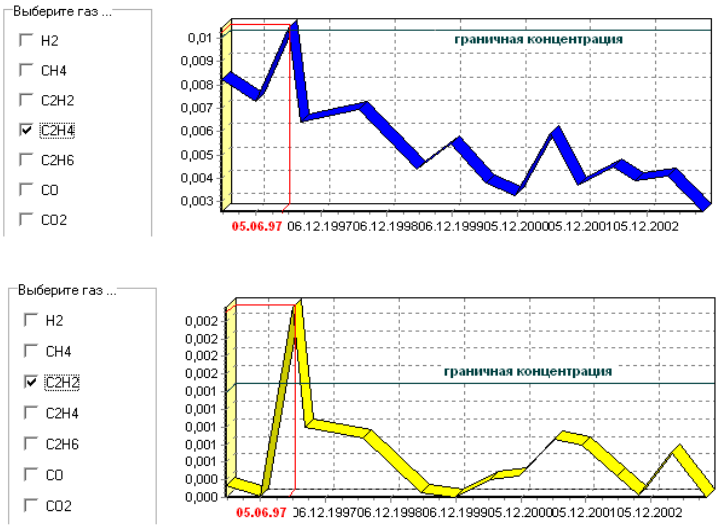
Таблица 1.

Результаты ХАРГ 2Т ПС «Северная» (ТДТН-40000/110, 1980 г.)

	Концентрации газов объемные %							
Дата анализа	H2 водород	CH4 метан	C2H4 этилен	C2H6 этан	C2H2 ацетилен	CO2 диоксид угле-да	CO оксид угле-да	Iнагр А
05.12.1996	0.00189	0.00056	0.00727	0.00101	0.00022	0.011	0.022	130
05.06.1997	0.0011	0.00078	**0.01045**	0.00274	**0.00236**	0.147	0.046	80
Гр.кон-я	0.01	0.01	0.01	0.005	0.001	0.4	0.06	
Отн.кон- я	0.11	0.078	**1.045**	0.548	**2.36**	0.3675	0.7667	
Vотн%мес	-6.97	6.55	**7.29**	28.55	**162.12**	206.06	18.18	
Vабс об/м	-0.0001	-3.7E-5	0.00053	0.00028	0.000357	0.02267	0.004	
Пара газов	C2H2/C2H4		CH4/H2		C2H4/C2H6		CO2/CO	
отношение	0.23		0.71		3.81		3.2	
диапозон	>0.1		<1		>=3		<5	

Таблица 2.

Заключение о состоянии СТ по РД 153-34.0-46.302-00



прогнозируется дефект первой группы - перегрев токоведущих соединений и элементов конструкции остова (дефект электрического характера: электрическая дуга, искрение); разряды малой и большой мощности, дефектом затронута твердая изоляция. Следующий отбор пробы – ***13.08.97***

Результаты ХАРГ от ***13.08.97*** не подтверждают прогнозируемого дефекта.

В результате применения разработанной методики для распознавания состояния СТ по данным, приведенным в табл. 1., получается следующее соотношение между признаком состояния *G(A)* и его предельно-допустимым значением $G_{гр}$:

$$G(A) = 0.424 < G_{гр} = 0.632.$$

Данное соотношение соответствует нормальному (бездефектному) состоянию контролируемого СТ, при котором отбор пробы масла на ХАРГ рекомендуется производить по графику.

На изменение состояния силовых трансформаторов оказывают влияние различные эксплуатационные факторы, например, такие как загрузка и срок службы. В связи с этим в моделях распознавания целесообразен учет влияния указанных факторов. Статистическая оценка чувствительности случайной величины *G* к изменению коэффициента загрузки $К_З$ позволила формализовать зависимость вида $G_{гр} = 0{,}6127 \cdot \exp[0{,}1448 \cdot К_З]$ для уточнения границы раздела классов состояний СТ (рис. 1).

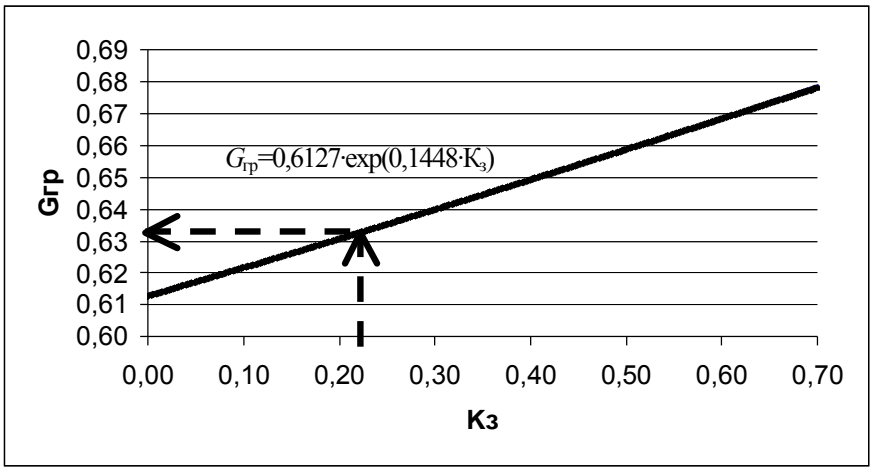


Рис. 1. Корреляционная зависимость $G_{ГР}$ от $К_З$

Анализ влияния срока службы СТ ($Т_{сл}$) на результаты распознавания проводился с применением статистики ХАРГ для группы из 100 СТ 110 кВ с различными сроками службы за период наблюдения 10 лет. Полученная зависимость характеризует изменение $G_{гр}$ при $0 \le (Т_{сл}/15) \le 3$, и с доверительной вероятностью 0,9998 может быть представлена полиномом второй степени $G_{гр} = - 0{,}0794 \cdot Т_{сл}^2 + 0{,}3463 \cdot Т_{сл} + 0{,}3064$ (рис. 2).

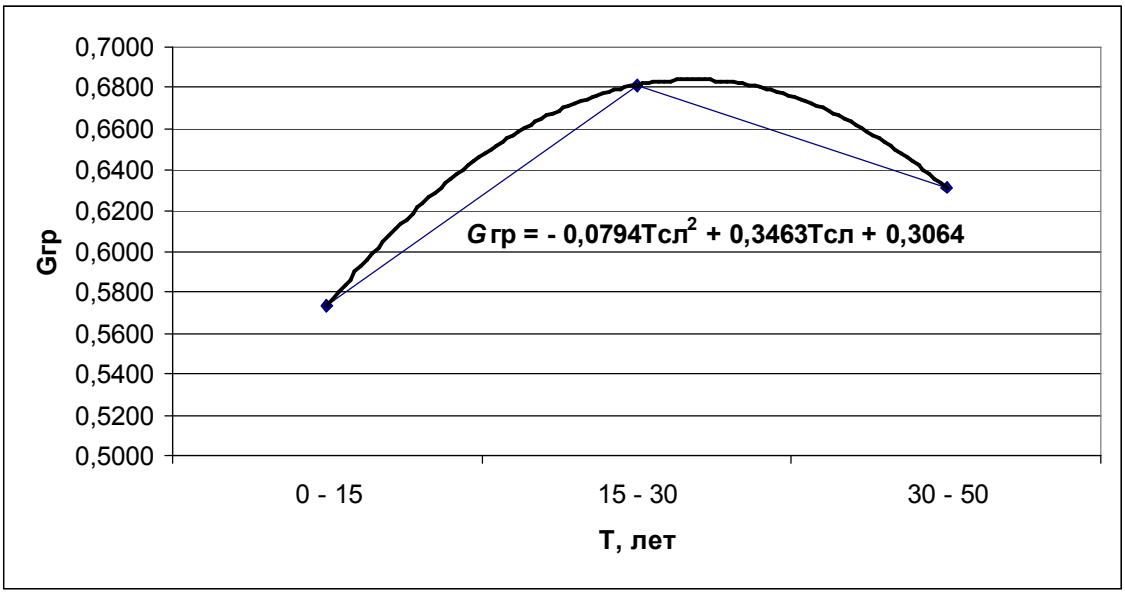


Рис. 2. Зависимость границы раздела классов состояний СТ от $Т_{сл}$

Оценка эксплуатационной надежности СТ. Отказы силовых трансформаторов (СТ) обусловлены возникновением и развитием различного вида дефектов, которые периодически выявляются и устраняются в процессе

эксплуатации и предупредительных ремонтов с применением методов и средств технической диагностики.

Уровень эксплуатационной надежности и работоспособности СТ оценивают по таким показателям как: наработка на дефект $T_д$ (год), параметр потока дефектов $\omega_д(t) = \frac{n(t)}{N \cdot \Delta t}$ (год $^{-1}$), а также вероятность бездефектной работы $p(t)$ либо вероятность возникновения дефекта $q(t) = 1 - p(t)$ [4]. Здесь: $n(t)$ – количество выявленных дефектных трансформаторов на интервале времени Δt=1 год; N – общее количество контролируемых СТ. При этом точечная вероятность возникновения дефекта $q^*(t, t+\Delta t)$ экспериментально оценивается по частоте появления данного события.

Рассмотрим методику определения указанных показателей эксплуатационной надежности по данным хроматографического анализа концентраций газов, растворенных в трансформаторном масле из бака (ХАРГ) СТ 110 кВ одного из сетевых предприятий. В качестве информационной базы использовалась выборка результатов ХАРГ для группы из 100 СТ 110 кВ с различными сроками службы и номинальными мощностями от 10 до 40 МВА за период наблюдения 10 лет. В результате предварительной обработки из исходной выборки были исключены измерения, достоверность результатов которых подвергалась сомнению. Для получения одинаковой частоты появления в выборке СТ с учащенной и нормальной (2 раза в год) периодичностью измерений было произведено усреднение значений концентраций диагностических газов за межконтрольный период для трансформаторов, находившихся на контроле. Дальнейшая обработка массива данных ХАРГ по критерию [1,2] позволила сформировать выборку данных с наличием признаков развивающихся дефектов СТ, по которой были рассчитаны значения точечной вероятности $q^*(t)$ в интервале календарного года (рис. 3). При помощи полученной зависимости, можно судить о влиянии некоторых эксплуатационных факторов на показатели надежности СТ.

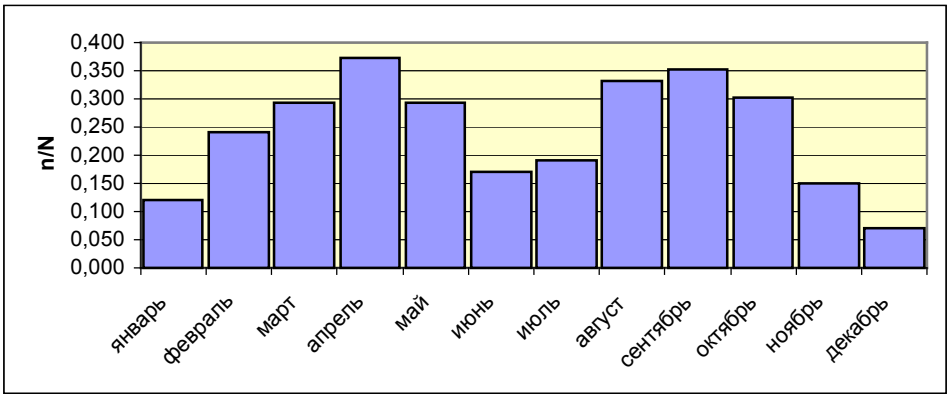


Рис. 3. Годовой график вероятностей обнаружения дефектных СТ

Так, например, очевидно (рис. 3), что наиболее опасными по интенсивности возникновения дефектов у СТ рассматриваемой группы являются периоды межсезонья (апрель, октябрь) с характерными резкими перепадами температур и изменением электрических нагрузок. Полученное наблюдение подтверждает практика эксплуатации СТ.

Для исследуемой статистики ХАРГ произведено построение интегральных функций распределения вероятностей возникновения разного вида дефектов. Это позволило рассчитать (табл. 3) значения параметра потока дефектов $\omega_д$ и вероятности бездефектной работы p^* СТ по годам периода эксплуатации. Средние значения параметра потока дефектов $\omega_{дср}$ за весь период наблюдения составляют: для всех дефектов независимо от их вида – 0,0343, для дефектов вида «разряд» - 0,0071, «перегрев» - 0,0242, «разряд и перегрев» - 0,0101.

Таблица 3

Распределение дефектов СТ по годам эксплуатации

Год	Количество дефектов *n(t)*	Параметр потока дефектов $\omega_д$, (1/год)	Вероятность бездефектной работы p^*
1995	3	0,03030303	0,9701515
1996	3	0,03030303	0,9701515
1997	3	0,03030303	0,9701515
1998	5	0,05050505	0,9507491
1999	2	0,02020202	0,9800007
2000	4	0,04040404	0,9604013
2001	2	0,02020202	0,9800007
2002	3	0,03030303	0,9701515
2003	6	0,06060606	0,9411939

2004	3	0,03030303	0,9701515

На основании проведенных исследований следует отметить, что вероятность бездефектной работы СТ исследуемой группы с высокой степенью достоверности (0,975) может быть представлена экспоненциальной функцией $p(t) = e^{-0,0343t}$.

Выводы:

1. Разработанные модели позволяют повысить достоверность диагноза по сравнению с методикой РД, а следовательно сократить количество необходимых дополнительных измерений и суммарные затраты на ХАРГ.
2. Использование методов математической статистики дает возможность выделить и формализовать в моделях распознавания влияние таких значимых факторов как $К_з$ и $Т_{сл}$.
3. Для оценки эксплуатационной надежности СТ применимы показатели, характеризуемые интенсивностью возникновения (обнаружения) дефектов.
4. Расчет указанных показателей требует методики обработки данных хроматографического анализа газов, растворенных в масле СТ с применением методов математической статистики.

Литература:

1. ***Левин В.М., Емельянов О.В.*** Модель для индикации дефектов силовых трансформаторов по результатам хроматографии. – Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, ЮРГТУ, 2004, Ч. 3.– С. 22 – 29.

2. ***Левин В.М., Емельянов О.В.*** Статистическая модель нормально работающего (бездефектного) трансформатора с учетом режимов его загрузки в электрической сети. – Материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, ЮРГТУ, 2005, Ч. 2. – С. 40 – 47.

3. ***РД 153-34.0-46.302-00.*** Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле. – М.: АО ВНИИЭ, 2001 – 41с.

4. ***Надежность и эффективность в технике:*** Справочник, Т. 8./ Под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. – М.: Машиностроение, 1990, 320 с.

Официальный сайт ЗАО "ФЕНИКС-88"
fenix88.com