

*Е.В. Зенова, д-р техн. наук, начальник лаборатории отдела разработки и исследования микро-, наносистем Института нанотехнологий микроэлектроники РАН*

*В.А. Чернышёв, д-р техн. наук, профессор кафедры «Теоретические основы электротехники» НИУ МЭИ (филиал в г. Смоленске)*

## Контроль состояния изоляционной системы высоковольтного энергетического оборудования

**Аннотация.** Оценивание состояния изоляционных систем на основе конкретных значений параметров в общем случае является проблемой, решение которой позволит повысить эффективность обслуживания оборудования.

Множество возможных механизмов старения, многозначность сторонних влияющих факторов, представление жизненного цикла изделия в виде последовательности этапов (фаз), каждый из которых характеризуется своим механизмом старения и видом повреждения, развивающегося в объеме изоляционного промежутка, определяют сущность технологического процесса диагностирования.

**Ключевые слова:** силовые трансформаторы, изоляционный промежуток, оценивание состояния, электрофизические параметры, комплексный показатель состояния, механизм старения, тип повреждения.

**Abstract.** Presentation of the results of insulating systems of parameters state estimation in the form of specific values is a problem and its solution will provide a means for improving the efficiency of high-voltage equipment maintenance.

The essence of the technological process of the status evaluation was defined by the variety of potential ageing mechanisms, uncertainty of influencing factors, presentation of the transformer life cycle in the form of successive stages (phases), each of them being characterized by its own ageing mechanism and type of defect developing in the insulation gap.

**Key words:** insulation gap, power transformer, state estimation, electrical and physical parameters, integrated state factor, ageing mechanism, defect type, structure-logic scheme of estimation.

Материал поступил в редакцию 26.02.2016  
Зенова Е.В. E-mail: elena\_zenova@mail.ru

Многопараметричность объекта контроля, многофакторность действующих эксплуатационных нагрузок и неоднозначность механизмов старения обуславливают многообразие возможных состояний, в которых может находиться изоляционный промежуток на протяжении всего жизненного цикла контролируемого оборудования.

В этой связи одной из важнейших задач современной диагностики является определение этапа или фазы жизненного цикла, в котором находится изоляционный промежуток, или типа повреждения дефекта, развивающегося в объеме диэлектрика.

В настоящее время эта задача решается методами газовой хроматографии, позволяющими каждому из детектируемых на опыте газов или их некоторой совокупности (треугольник Duval'a) [1] поставить в соответствие определенный вид развивающегося во времени повреждения. Установленный таким образом вид дефекта соотносится с одним из возможных видов (фаз) состояния. Так, в треугольнике Duval'a существует семь таких фаз, последовательность которых практически идентична этапам жизненного цикла.

Результаты газовой хроматографии, несмотря на ее возможности, не обладают достаточной достоверностью для оценки состояния изоляционной системы, так как в контролируемом изоляционном промежутке условия работы и свойства «работающего» масла могут существенно отличаться от свойств и параметров масла, взятого в качестве пробы из нижней части бака трансформатора.

Однако нетрудно представить, что, если трансформатор по результатам газового анализа отнесен к одной из семи классификационных зон, то для него должно существовать также строго определенное соотношение значений и других

свойств, например, электрофизических параметров, которое будет изменяться соответствующим образом при переходе промежутка из одной классификационной зоны (состояния) в другую. Поэтому такой треугольник может быть построен, в принципе, не по результатам газовой хроматографии, а по совокупности измеренных электрофизических параметров (рисунок).

Подробное описание областей возможных состояний изоляционных промежутков приведено в работе [1].

В качестве контролируемых были отобраны параметры, отличающиеся фундаментальностью механизмов, формирующих устойчивость изоляционного промежутка к внешним воздействиям. К ним были отнесены: величина электрического сопротивления изоляции  $R$ , обобщенный индекс поляризации  $\text{tr}i$ , определяющий интенсивность процесса поляризации в объеме контролируемого изоляционного промежутка; коэффициент электрического разряда  $DD$ , характеризующий энергию закрепления заряженных частиц, формирующих объемный заряд, или глубину ловушек [2].

Построенный таким образом треугольник получил название «треугольник возможных состояний». Он позволил стратифицировать имеющуюся базу данных по виду возможных состояний, средние значения параметров контроля для которых приведены в таблице.

Данные результаты показывают устойчивую связь среднего времени жизни трансформатора с номером фазы (вида) состояния. Уровень детерминированности обнаруженной корреляционной связи областей возможных состояний со средним значением времени жизни трансформатора достаточно высокий при коэффициенте корреляции  $r = 0,9$ . Аналогичная закономерность сохраняется и для остальных

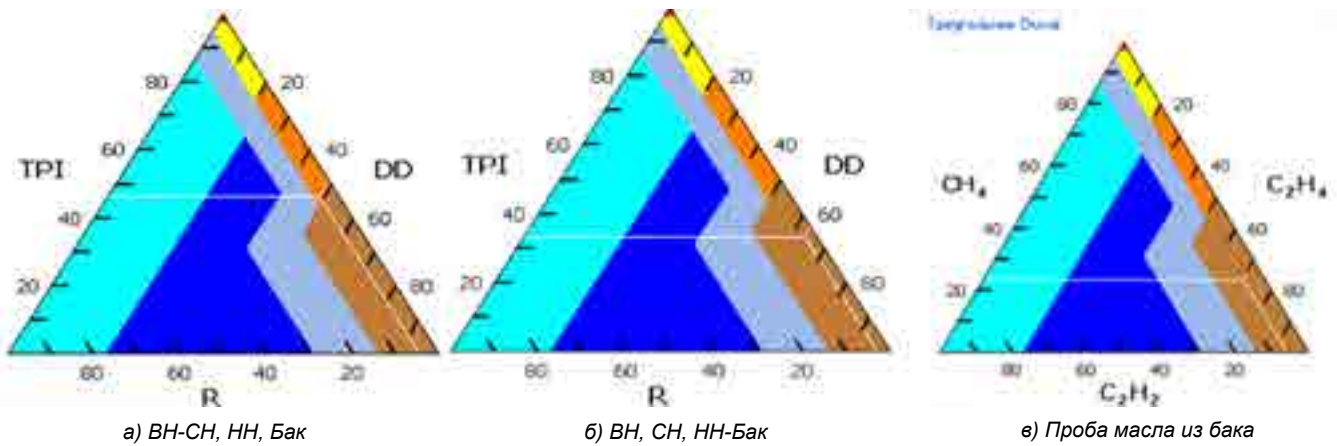


Рис. Треугольники возможных состояний

а) изоляционный промежуток обмотки высокого напряжения (ВН), б) изоляционный промежуток между баком и объединенной группой обмоток высокого, среднего и низкого напряжения (ВН, СН, НН), в) треугольник Duval'a для пробы масла, взятого из бака трансформатора

Таблица

Средние значения параметров в различных состояниях промежутка

№ п/п	$T_{жс}$ год	R, ГОм	DAR	PI	tri	DD	б, нА
1	27,6	0,9	–	–	53	4,83	–
2	29,83	1,317	1,204	1,6585	45,7546	6,6118	1,7933
3	36,5	1,247	1,0826	1,3169	26,0413	15,916	3,3642
4	36,38	0,559	1,0130	1,1087	12,26314	21,031	1,85
5	37,57	2,614	1,0763	1,2096	24,65053	5,9822	2,126
6	36,05	16,76	1,0978	1,2848	27,39065	2,1957	0,9253
7	42	2,3628	1,0371	1,0733	6,0418	3,5496	1,134

$T_{жс}$  – время эксплуатации исследуемого трансформатора;  
 $б$  – разрядная активность изоляционного промежутка (уровень частичных разрядов);  
 DAR – коэффициент диэлектрической абсорбции;  
 PI – индекс поляризации.

конкретных параметров, приведенных в таблице. Одновременно удается проследить устойчивую связь между значениями контролируемых параметров и временем жизни трансформатора, что характеризует их как частные функции устойчивости контролируемого изоляционного промежутка к внешним воздействиям.

Отмеченные выше закономерности дают основание полагать, что выбранные параметры действительно являются функциями состояния изоляционного промежутка, отражающего его устойчивость к действию эксплуатационных нагрузок. Эти параметры в таком случае могут служить основой для формирования

комплексного (скорее интегрального) показателя, позволяющего приписать данному состоянию вполне определенное числовое значение, отличающееся высокой степенью достоверности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Transformer Diagnostics. Facilities Instruction, Standards and Techniques. Volume 3–31 // United State Department of Interior Bureau of Reclamation. June 2003.
2. Zenova E.V., Chernyshev V.A. Assessment of the Actual State of the Insulation Gaps of Large and Average Electrical Motors // Journ. of Chemical Science and Technology. – April 2015. Vol. 4, Iss. 2. – P. 24–27.

ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ  
 «КАБЕЛИ И ПРОВОДА» МОЖНО В РЕДАКЦИИ

Стоимость подписки на I полугодие 2016 года (3 номера), в рублях:

- для членов Ассоциации «Электрокабель» – 1275 руб.,
- для учебных заведений и студентов – 480 руб.,
- для остальных подписчиков России и стран СНГ – 1380 руб.,
- для подписчиков зарубежных стран – 33 у.е.

НДС не облагается по ст. 145 НК РФ

По вопросам подписки обращайтесь  
 к Алле Евгеньевне Тимофеевой  
 Тел./факс: (495) 918–1627  
 E-mail: kp@vniikp.ru, alla\_timofeeva\_60@mail.ru

Реквизиты для оплаты  
 в рублях:

ИНН 7722159427  
 КПП 772201001  
 р/с: 40702810238120102932  
 в Московском банке  
 ПАО «Сбербанк», г. Москва  
 к/с: 3010181040000000225  
 БИК 044525225

Подписной индекс в каталогах агентств «Роспечать» и «Урал-Пресс» – 79943