НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
АЧИМСХ

АКТИВНАЯ ЧЕСТОЛЮБИВАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МОЛОДЕЖЬ СЕЛЬСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ



№ 2(13)
2022

Активная Честолюбивая Интеллектуальная Молодежь – Сельскому Хозяйству. 2022. № 2 (13). С. 140-145.
Active Ambitious Intellectual Youth – To The Rural Economy. 2022. № 2 (13). pp. 140-145.

Научная статья
УДК 621.314.222.6-027.45

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Агарков Владимир Николаевич[1], Бабаев Илья Дмитриевич[1], Горелов Тимур Михайлович[1], Кырлиг Юрий Александрович[1], Смольников Дмитрий Андреевич[1], Кобзистый Олег Валентинович[1], Головинов Валентин Васильевич[1], Забродина Ольга Борисовна[1]

[1]Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия, achgaa@achgaa.ru.

Аннотация. Оценка эксплуатационной надежности силовых трансформаторов распределительных сетей проводится с помощью вероятностно-статистического метода. При длительном периоде эксплуатации интенсивность отказов не будет превышать интенсивность отказов периода приработки силового трансформатора, и максимальный срок эксплуатации будет составлять около 31 года, что позволит электросетевым предприятиям вносить коррективы в регламентные работы, связанные с текущим обслуживанием, ремонтом или заменой силового трансформатора.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, распределительные сети, оценка надёжности, вероятность безотказной работы, наработка на отказ.

Для цитирования: Агарков В.Н. Оценка надежности силовых трансформаторов при длительной эксплуатации / В.Н. Агарков, И.Д. Бабаев, В.В. Горелов, Ю.А. Кырлинг, Д.А. Смольников, О.В. Кобзистый, В.В. Головинов, О.Б. Забродина // Активная Честолюбивая Интеллектуальная Молодежь – Сельскому Хозяйству. 2022. № 2 (13). С. 140-145.

Original article

RELIABILITY EVALUATION OF POWER TRANSFORMERS DURING LONG-TERM OPERATION

Agarkov Vladimir Nikolaevich[1], Babaev Ilya Dmitrievich[1], Gorelov Timur Mikhailovich[1], Kirlig Yuri Alexandrovich[1], Smolnikov Dmitry Andreevich[1], Kobzist Oleg Valentinovich[1], Golovinov Valentin Vasilyevich[1], Zabrodina Olga Borisovna[1]

[1]Azovo-Black Sea Engineering Institute - branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia, achgaa@achgaa.ru

Abstract. The assessment of the operational reliability of power transformers of distribution networks is carried out using a probabilistic-statistical method. With a long period of operation, the failure rate will not exceed the failure rate of the running-in period of the power transformer and the maximum service life will be about 31 years, which will al-low electric grid enterprises to make adjustments to routine maintenance, related to routine maintenance, repair or replacement of the power transformer.

Keywords: power transformers, distribution networks, reliability assessment, probability of no-failure operation, time between failures.

For quoting: Agarkov V.N. Reliability evaluation of power transformers during long-term operation / V.N. Agarkov, I.D. Babaev, V.V. Gorelov, Yu.A. Kyrling, D.A. Smolnikov, O.V. Kobzisty, V.V. Golovinov, O.B. Zabrodina //Active Ambitious intellectual Youth – Agriculture. 2022. № 2 (13). pp. 140-145. (In Russ.).

Для оценки эксплуатационной надежности силовых трансформаторов распределительных сетей следует использовать вероятностно-статистический метод, при применении которого потребуется сформировать массив исходных данных, которые могут быть получены в электросетевой компании, ответственной за эксплуатацию силовых трансформаторов.

В массиве данных должны использоваться значения наработок силовых трансформаторов. Согласно отраслевым стандартам за наработку принимается продолжительность или объем работы изделия [1].

Для проведения оценки надёжности силовых трансформаторов, находящихся в эксплуатации на территории Зерноградского и Кагальницкого районов Ростовской области, была собрана информация по 45 трансформаторам.

Установлено, что наибольшее количество отказов приходится на первые годы эксплуатации трансформатора [2] и именно надёжность в начальный период эксплуатации определяет его дальнейшую работу и требует более детального исследования. Для этого необходимо учитывать следующие вероятностно-статистические параметры, которые следует рассматривать как исходные, или входные:

1. t – наработка до отказа (ч);
2. n – общее число наблюдаемых значений случайной величины;
3. n_i – количество значений случайной величины в каждом интервале;
4. k – число интервалов статистического распределения;
5. Δt - границы интервалов.

В то же время за выходные параметры принимаются следующие:

1. Интенсивность отказов, λ.
2. Наработка на отказ, $a(t)$.
3. Средняя наработка на отказ, $T_{ср}$.
4. Вероятность безотказной работы, $P(t)$.
5. Среднее время безотказной работы, T.

Сбор данных и их статистическая обработка являются важным способом получения информации о надёжности электротехнических изделий, в том числе об износе и отказах во время эксплуатации. При этом будут решаться следующие задачи:

1. Определение вида функции плотности распределения или интегральной функции распределения.
2. Вычисление параметров полученного распределения.
3. Установление с помощью критериев согласия степени совпадения эмпирического с предполагаемым теоретическим распределением.

Порядок проведения оценки надёжности силового трансформатора может быть представлен в виде алгоритма, который приведён на рисунке 1. Центральной позицией в этом алгоритме является выбор вида теоретического распределения, который бы в наибольшей степени согласовывался с полученным эмпирическим, при этом приходится чаще всего применять метод максимума правдоподобия или метод наименьших квадратов, причем последний применяется для определения параметров распределения при полных выборках.



Рисунок 1 – Алгоритм проведения оценки надёжности силового трансформатора
Figure 1 – Algorithm for assessing the reliability of a power transformer

Чтобы провести оценку соответствия эмпирических и теоретических кривых распределения, могут быть использованы следующие критерии согласия: критерий Пирсона или критерий Колмогорова. При этом, что касается критерия Колмогорова, начальные или исходные данные представляются в виде упорядоченной статистической совокупности. Кроме того, при оценке меры близости рассматриваемых кривых распределения рассматривается величина максимального расхождения гипотетической и статистической интегральных функций.

Аналитическая оценка закона распределения по критерию Пирсона ведётся в два этапа: построение гистограмм и кумулятивных прямых и проверка допустимости принятого закона

распределения отказов по критериям согласия. В дальнейшем делается проверка на совпадение эмпирической кривой распределения с принятой теоретической путём применения критерия Пирсона.

Полученные значения критерия согласия Пирсона следует сравнивать с табличными значениями для соответствующей доверительной вероятности и числа степеней свободы. Если полученное значение меньше табличного, то гипотеза об идентичности эмпирического и теоретического законов является верной и может быть применима в дальнейших исследованиях, в противном случае гипотеза должна быть отвергнута, и необходимо проверять другой закон распределения.

При обработке собранных данных по отказам силовых трансформаторов было определено, что гистограмма наработки на отказ соответствует экспоненциальному закону распределения. Математическое ожидание наработки на отказ составило 5132 часа.

В результате проведённых расчётов был построен график зависимости вероятности безотказной работы от времени для силовых трансформаторов, который представлен на рисунке 2.

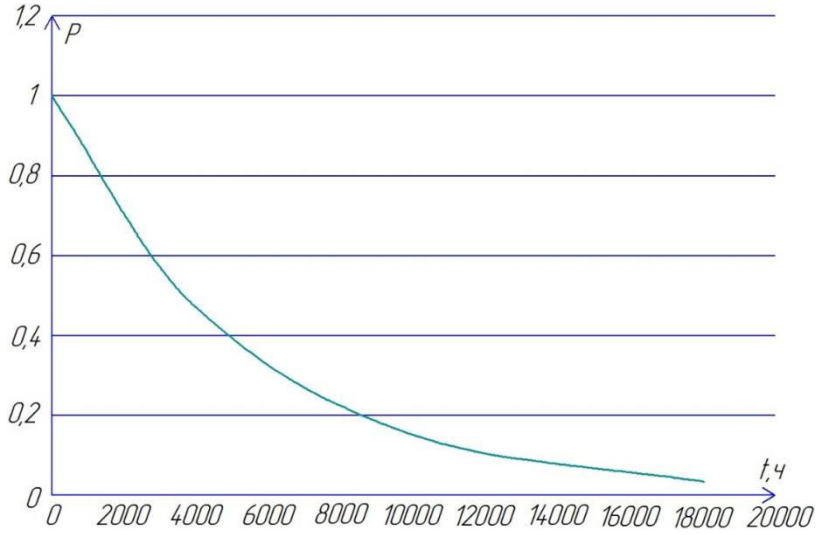


Рисунок 2 – График оценки вероятности безотказной работы трансформаторов
Figure 2 – Graph of the probability of failure-free operation of transformers

Дальнейший анализ вероятностной характеристики интенсивности отказов при длительной эксплуатации (период 25-40 лет) показал, что интенсивность отказов не будет превышать интенсивность отказов периода приработки силового трансформатора (период до 12 лет), и максимальный срок эксплуатации будет составлять около 31 года, что несколько выше гарантированных 25 лет со стороны изготовителя. Это позволит рационально относиться к обновлению эксплуатируемого парка трансформаторов распределительных сетей. Кроме того, это предоставит возможность электросетевым предприятиям вносить коррективы в регламентные работы, связанные с текущим обслуживанием, ремонтом или с заменой силового трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования / ПАО «Россети», дата введения 29.05.2017. [Электронный ресурс] URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293734/4293734154.pdf. Дата обращения 24.09.2022.

2. Кунулеков Д.С. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов / XX Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии». Секция 4: Электромеханика. Томск: ТПУ,2014. с. 249-250. [Электронный ресурс] URL: http://earchive.tpu.ru-/bitstream-/11683/21031/1/ conference_tpu-2014-C01-V1-120.pdf. Дата обращения 20.09.2022.

Информация об авторах

В.Н. Агарков – студент магистратуры, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-904-500-90-17, e-mail: vova.agarkov.1983g@mail.ru

И.Д. Бабаев – студент магистратуры, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-988-897-19-40, e-mail: metalthun-der312@gmail.com

Т.М. Горелов – студент магистратуры, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-988-966-67-07, e-mail: Gorelov-timur@rambler.ru

Ю.А. Кырлиг – студент магистратуры Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-962-436-58-76, e-mail: kir1996@mail.ru

Д.А. Смольников – студент магистратуры, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-928-764-36-58, e-mail: dmit.smolnikow@yandex.ru

О.В. Кобзистый – кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-928-164-53-21, e-mail: ol.kob@mail.ru

В.В. Головинов – кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-928-761-91-50, e-mail: vaco@mail.ru

О.Б. Забродина – кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета в г. Зернограде, Ростовская область, г. Зерноград, Россия. Телефон: 8-918-576-77-47, e-mail: zernob@yandex.ru

✉ *Валентин Васильевич Головинов, e-mail: vaco@mail.ru.*

Information about the authors

V.N. Agarkov – Master's student, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. Phone: 8-904-500-90-17, e-mail: vova.agarkov.1983g@mail.ru.

I.D. Babaev – is a master's student, Azov–Black Sea Engineering Institute - branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. Phone: 8-988-897-19-40, e-mail: metalthun-der312@gmail.com.

T.M. Gorelov – Master's student, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. Phone: 8-988-966-67-07, e-mail: Gorelov-timur@rambler.ru.

Yu.A. Kyrlig – is a graduate student of the Azov–Black Sea Engineering Institute, a branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov Region, Zernograd, Russia. Phone: 8-962-436-58-76, e-mail: kir1996@mail.ru.

D.A. Smolnikov – Master's degree student, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. Phone: 8-928-764-36-58, e-mail: dmit.smolnikow@yandex.ru.

O.V. Kobzisty – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. Phone: 8-928-164-53-21, e-mail: ol.kob@mail.ru

V.V. Golovinov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. Phone: 8-928-761-91-50, e-mail: vaco@mail.ru

O.B. Zabrodina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Rostov region, Zernograd, Russia. Phone: 8-918-576-77-47, e-mail: zernob@yandex.ru

✉ *Valentin Vasilyevich, Golovinov, e-mail: vaco@mail.ru.*

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 29.04.2022; одобрена после рецензирования 08.05.2022; принята к публикации 22.06.2022.
The article was submitted 29.04.2022; approved after reviewing 08.05.2022; accepted for publication 22.06.2022.