

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

¹ООО «Теплоэффект», г. Минск, Республика Беларусь, инженер КИПиА

²Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, доцент, кандидат технических наук, доцент

³Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи», г. Минск, Республика Беларусь, декан факультета инжиниринга и технологий связи, кандидат технических наук, доцент

В статье для трансформаторов вторичных источников питания выполнено сравнение их эксплуатационной интенсивности отказов по моделям прогнозирования, полученные:

- по традиционной отечественной методике;
- по методике, включенной в военный справочник США;
- по предлагаемой авторами составной модели, учитывающей надежность составных частей и компонентов трансформатора.

Для обеспечения корректности сравнения получаемых моделей их применение проиллюстрировано численным примером на одном и том же наборе входных данных. Для анализа используется трансформатор выходной строчной развертки ТВС-110ПЦ16. Его характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики и входные параметры трансформатора ТВС-110ПЦ16

Параметр, характеристика	Значение
Входное напряжение	135±15 В
Частота	16,6±1,6 кГц
Время обр. хода	12±1,5 мкс
Выходное напряжение	26,5 кВ
Ток	1100 мкА
Выходное напряжение к обмоткам	8,5 кВ
Масса магнитопровода	62 г
Длина витка	16,3 см

Используя отечественную модель, приводимую в Российском справочнике «Надежность электрорадиоизделий», разработанном Федеральным государственным учреждением «22-й Центральный

научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны России» [1], установлено, что в данной модели основное влияние на проектный показатель надежности оказывают значение базовой интенсивности отказов и коэффициент зависимости надежности трансформатора от максимально допустимой температуры, указываемой в технической документации. Остальные коэффициенты – жесткости условий эксплуатации и приемки, ввиду использования трансформатора в бытовых электронных устройствах, приняты типовыми для этих условий.

В методике прогнозирования надежности трансформаторов, изложенной в оборонном справочнике США MIL-HDBK-217F [2], расчет ведется по такой схеме: итоговая интенсивность отказов определяется произведением трех основных составляющих – базовой интенсивности отказов, коэффициента качества и коэффициента условий эксплуатации. Базовая интенсивность отказов задается в справочнике для разных типов трансформаторов (аудио, импульсных, силовых и т. п.) и зависит, в частности, от температуры горячей точки. Далее она корректируется множителями, которые учитывают класс и уровень качества изготовления, а также условия применения трансформатора – от наземных бытовых до условий работы электронного оборудования военной техники.

Предлагаемая авторами работы методика рассматривает трансформатор как совокупность отдельных частей (компонентов). Для каждой обмотки оценивается ее вклад в общую интенсивность отказов, причем принимается во внимание длина провода, его диаметр, материал и температура нагрева при работе трансформатора. Отдельно учитывается надежность точек паяк и механических соединений, поскольку именно они часто оказываются наиболее слабым местом. Все получаемые оценки суммируются, и сумма корректируется с помощью типовых коэффициентов, отражающих особенности технологии и условий эксплуатации трансформатора. Преимущество такого подхода в том, что он дает максимально наглядную «карту» распределения рисков. Сразу видно, какие обмотки или соединения формируют основной вклад в общую интенсивность отказов трансформатора: например то, что наиболее уязвимой частью может быть высоковольтная обмотка или ее точки паяк. Это позволяет инженеру целенаправленно искать пути снижения рисков – например, уменьшать количество соединений, улучшать качество паяк или выбирать провод с более подходящими характеристиками.

В таблице 2 приведены полученные по разным моделям значения эксплуатационной интенсивности отказов рассматриваемого трансформатора (см. таблицу 1).

Таблица 2 – Значения интенсивности отказов трансформатора

Способ оценки надежности		Интенсивность отказов, 1/ч
Модель прогнозирования	Отечественная (Россия)	$1,218 \cdot 10^{-7}$
	MIL-HDBK-217F (США)	$1,4 \cdot 10^{-7}$
	Предлагаемая авторами	$5,282 \cdot 10^{-6}$
Экспериментальное значение [4]		$1 \cdot 10^{-6}$

Различие значений интенсивностей отказов является следствием особенностей моделей прогнозирования эксплуатационной надежности трансформаторов. Отечественная методика (Россия) дает одно из наименьших значений, что соответствует более оптимистичной оценке надежности, тогда как расчет по оборонному справочнику США более чувствителен к условиям эксплуатации и качеству изготовления трансформаторов. Предлагаемая авторами модель дает значительно более высокую интенсивность отказов, поскольку учитывает реальную структуру трансформатора, включая влияние каждой обмотки и точек паяк. Это значение в наибольшей степени согласуется с экспериментальным значением интенсивности отказов трансформаторов рассматриваемого типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Надежность электрорадиоизделий, 2006 : справочник / С. Ф. Прытков [и др.] // научн. руководитель авторского коллектива С. Ф. Прытков. – М. : ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», 2008. – 641 с.
2. Reliability prediction of electronic equipment : Military Handbook MIL-HDBK-217F. – Washington: Department of defence, DC 20301, 1995. – 205 p.
3. Боровиков, С. М. Новый подход к оценке эксплуатационной надежности трансформаторов вторичных источников питания медицинской аппаратуры = A new approach to assessing the operational reliability of transformers of secondary power sources of medical equipment / С. М. Боровиков, Е. Д. Гришечкин // Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.]. – Минск, 2024. – С. 280–283.
4. Трансформаторы, справочник. Динамо-машины [Электронный ресурс]. – URL: <http://dinamotimal.ru/din/401/97/index.shtml> (дата обращения 04.10.2025).