

Таблица 2

Периоды времени между текущими ремонтами оборудования при учете требуемого уровня надежности электроснабжения

Наименование оборудования	Период времени t_m , год		
	1 категория	2 категория	3 категория
Силовые трансформаторы 630-1000 кВА, 6-10 кВ	1,15	1,95	2,4
Масляные выключатели типа ВМП-10	0,75	1,3	1,4
Выключатели нагрузки	0,65	1,05	1,35
Автоматические выключатели	1,5	2,1	2,55
Силовые кабели 6-10 кВ, проложенные в траншее, 1км	0,95	1,55	1,75

Выводы:

1. При установлении межремонтных периодов электрооборудования подстанций и линий электропередачи необходимо учитывать требуемую надежность электроснабжения.
2. Межремонтные периоды электрооборудования и линий электропередач зависят от конкретных условий их работы и должны определяться на основании действительных значений M , ω , σ и $Z_{ок}$ элементов конкретной системы электроснабжения.
3. Периоды времени между капитальными и текущими ремонтами электрооборудования и линий электропередач целесообразно определять, соответственно, по формулам (1) и (3).
4. Корректировка межремонтных периодов при учете надежности электроснабжения приводит к более рациональному распределению средств при проведении ППР электрооборудования и линий электропередач.

**АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ ГОСТ ПО НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ
МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Д.М. Лось, Д.И. Зализный

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Рунов Ю.А.

ГОСТ 14209-85 "Трансформаторы силовые масляные общего назначения" является основным документом по определению допустимых нагрузок и выбору номинальных мощностей трансформаторов системы электроснабжения. Однако анализ этого нормативного документа выявил ряд серьезных недостатков, рассмотрению которых и посвящена данная статья.

Основными параметрами для определения допустимых нагрузок трансформатора являются тепловые параметры – температура наиболее нагретой точки обмотки (ННТ), температура масла в верхних слоях и износ витковой изоляции обмотки. Однако когда трансформатор недогружен, скорость износа витковой изоляции будет невысока. И по истечении нормативного срока службы трансформатора витковая

изоляция не будет полностью изношена. Поэтому следует пересмотреть принятые в [1] положения по допустимым нагрузкам.

Также отсутствие современных приборов контроля тепловых параметров в эксплуатации не позволяет осуществить требуемую загрузку трансформатора. А это в свою очередь ведёт к дополнительной трате средств на содержание парка трансформаторов на предприятии.

Следует упрекнуть ГОСТ в излишней упрощённости. В первую очередь это касается рассмотрения трансформатора в тепловом отношении как системы двух однородных тел – обмотки и масла. Причём, при нагрузках и перегрузках длительностью более 0,5 ч в [1] советуют использовать в расчётах только тепловую инерционность масла. В случае же длительности нагрузок менее 0,5 ч советуют учитывать ещё и инерционность обмотки ($\tau_{об}$). Однако, в то время как тепловая постоянная времени масла дана (определена в ГОСТ как постоянная времени трансформатора τ), о величине $\tau_{об}$ не имеется никаких сведений.

Проанализируем выражение для температуры ННТ в переходном тепловом режиме, данное в [1].

Известно, повышение температуры в трансформаторе обусловлено повышением потерь. Сами же потери складываются из потерь короткого замыкания (зависят от нагрузки) и потерь холостого хода (постоянны). Поэтому выражение для температуры ННТ в переходном тепловом режиме должно содержать постоянную температуру, обусловленную потерями холостого хода.

С учётом вышеизложенного и на основе [2] предполагается рассматривать масляный трансформатор в тепловом отношении как систему трёх однородных тел – магнитопровод, обмотка, масло. Подробно тепловая модель масляных трансформаторов дана в [2].

Далее в ГОСТ для расчёта норм допустимых нагрузок рекомендовано преобразование исходного графика нагрузки в эквивалентный двухступенчатый. Причём закон преобразования (квадратичный) не учитывает физики тепловых процессов, протекающих в масляных трансформаторах. Более того, в стороне остаются потери в стали сердечника. Закономерно, следовательно, ожидать, заниженные значения температур. Существенная ошибка появится и при расчёте износа витковой изоляции.

Понятие "эквивалентный" в ГОСТ встречается и применительно к температуре охлаждающей среды. Рекомендовано изменяющуюся температуру окружающей среды заменять эквивалентной, т. е. условно постоянной за принятое время. Замена реального изменения температуры условно постоянной температурой также неизбежно приведёт к занижению максимальных температур нагрева. Яркая критика данных положений дана в [3].

Для оценки различий в тепловых расчётных приведём зависимости, полученные для исходного графика нагрузки и двухступенчатого эквивалентного. При построении кривых нагрева и износа для масляного трансформатора по уравнениям, приведённым в [2], будем использовать трансформатор ТМ-1000/10.

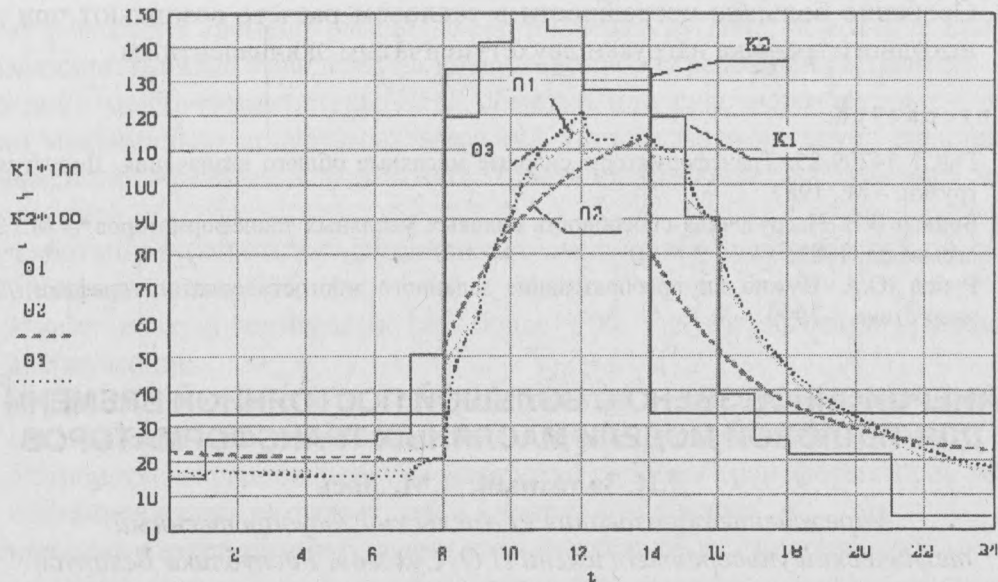


Рис. 1. Кривые нагрева совместно с исходным K1 и эквивалентным двухступенчатым K2 графиками нагрузки

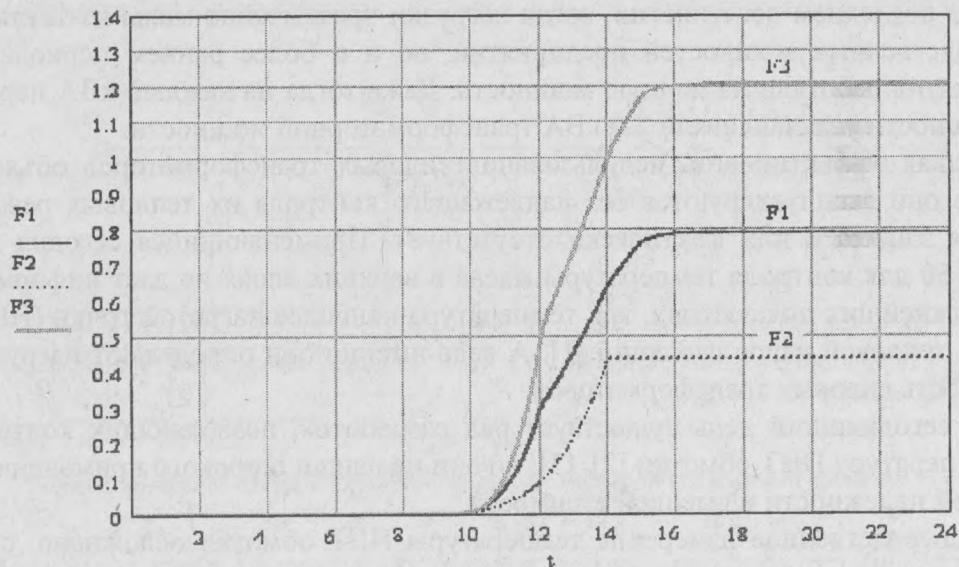


Рис. 2. Кривые износа витковой изоляции

На графиках: Θ_1 , F1 – соответственно, температура ННТ по методике [1] и износ витковой изоляции для нагрузки K1; Θ_2 , F2 – то же для нагрузки K2; Θ_3 , F3 – соответственно, температура ННТ и износ витковой изоляции для нагрузки K1 по уравнениям, приведённым в [2].

Из рис. 1 видны максимальные значения температур ННТ обмотки для суточного графика нагрузки: $\Theta_{1\max} = 116,4^\circ\text{C}$, $\Theta_{2\max} = 113,8^\circ\text{C}$, $\Theta_{3\max} = 121,1^\circ\text{C}$.

Согласно рис. 2 относительный износ за сутки: F1 = 0,79, F2 = 0,44, F3 = 1,21.

Погрешности в расчёте износа (между F1 и F2) 44,3 %, (между F1 и F3) 34,7 %.

На основе полученных данных можно сделать выводы:

1. Тепловой расчёт по методике [1] даёт заниженные значения температур нагрева.

2. Особенно большие погрешности в тепловом расчёте возникают при замене исходного графика нагрузки двухступенчатым эквивалентным.

Литература

1. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – М., 1987.
2. Боднар В.В. Нагрузочная способность силовых масляных трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Рунов Ю.А. Нужно ли преобразование заданного многоступенчатого графика //Электроэнергетика. – 1999. – № 1.

ИНЕРЦИОННОЕ ЗВЕНО С БОЛЬШОЙ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Д.И. Зализный, Д.М. Лось

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Рунов Ю.А.

Одна из основных проблем отечественного электроснабжения – это низкая эффективность использования по мощности силовых трансформаторов. Речь идет не только о последнем десятилетии, когда нагрузки чрезвычайно малы из-за снижения производственных мощностей предприятий, но и о более раннем периоде, когда предприятия работали на полную мощность. Даже тогда на каждый кВА передаваемой мощности устанавливали 2-3 кВА трансформаторной мощности.

Низкая эффективность использования силовых трансформаторов объясняется тем, что они эксплуатируются без надлежащего контроля их тепловых режимов и тепловая защита в них фактически отсутствует. Применяющийся сегодня прибор ТКП – 160 для контроля температуры масла в верхних слоях не дает информации о таких важнейших показателях, как температура наиболее нагретой точки (ННТ) обмотки и тепловой износ изоляции [1]. А ведь именно они определяют нагрузочную способность силовых трансформаторов.

На сегодняшний день существует ряд разработок, позволяющих контролировать температуру ННТ обмотки [2], [3], но они не нашли широкого применения из-за их низкой надежности и высокой стоимости.

Непосредственное измерение температуры ННТ обмотки осложнено, с одной стороны, тем, что обмотка находится под высоким напряжением, а с другой – тем, что датчики измеряющего устройства можно устанавливать только на этапе сборки трансформатора. Поэтому более эффективным и целесообразным является метод тепловых моделей [2]. Устройства, работающие на основе данного метода, измеряют температуру ННТ обмотки косвенно, используя для расчета тепловых параметров физико-математическую тепловую модель. Эта модель должна быть максимально приближена к реальным процессам в трансформаторе.

В процессе теоретических исследований нами была рассмотрена и усовершенствована математическая тепловая модель силовых масляных трансформаторов как системы трех однородных тел: обмотки, масла и магнитопровода, приведенная в [2]. На основе полученных расчетных соотношений разработана принципиальная схема требуемого устройства.

Его принцип действия состоит в следующем. В процессе работы устройство измеряет ток нагрузки силового трансформатора, температуру окружающего воздуха и