

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассмотрено содержание действующего стандарта по нагрузкам силовых масляных трансформаторов. Приведена последовательность моделирования нестационарных тепловых режимов силовых масляных трансформаторов в электрических сетях.

Цель исследования: повышение эксплуатационной надежности электрических сетей и систем за счет интенсификации нагрузочной способности силовых масляных трансформаторов.

Методика реализации: внедрение передовых алгоритмов и программ моделирования нестационарных термодинамических процессов силовых масляных трансформаторов для автоматизированного контроля внутреннего теплового состояния.

Результаты исследования: проанализированы основные положения действующих нормативных документов по нагрузочной способности силовых масляных трансформаторов; исследована целесообразность применения программного пакета SolidWorks для моделирования тепловых режимов силовых масляных трансформаторов.

Выводы: показано, что внедрение современных алгоритмов и программных пакетов позволяет создать эффективную модель автоматизированного контроля нестационарных тепловых режимов силовых масляных трансформаторов в электрических сетях.

Ключевые слова: силовой трансформатор, нагрузочная способность, нестационарный тепловой режим, моделирование.

Введение. Электрическая энергия при ее передаче от шин электростанций до конечных потребителей претерпевает до восьми трансформаций. При этом в электрических сетях соответствующих классов напряжения на каждый киловатт передаваемой мощности приходится устанавливать от 1,5 до 2,5 кВА трансформаторной мощности. Приведенная в [1] статистическая информация о силовых масляных трансформаторах, установленных в электрических сетях разных классов напряжения, свидетельствует о том, что значительное количество трансформаторов понизительных подстанций нуждается в замене или серьезном капитальном ремонте. Неудовлетворительное техническое состояние трансформаторного парка приводит к частым отказам и авариям трансформаторов с серьезными нарушениями показателей надежности электроснабжения.

В сложившихся тяжелых экономических условиях особое значение приобретает обеспечение наивысшей эффективности от каждого киловольт-ампера установленной трансформаторной мощности. В масштабах страны улучшение даже на 1 % использования установленной мощности за счет интенсификации нагрузочной способности трансформаторов, находящихся в эксплуатации, равносильно годовому выпуску современного трансформаторного завода.

Постановка задачи. Для оценки нагрузочной способности трансформаторов необходимо определить температуру в наиболее нагретых точках изоляции обмотки. Такой расчет сводится к определению превышения температуры верхних слоев масла над температурой охлаждающей среды и превышения температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла при неустановившихся режимах нагрева.

Многочисленные результаты температурных испытаний масляных трансформаторов с различными системами охлаждения свидетельствуют о том, что определение температуры наиболее нагретой точки изоляции обмоток является достаточно сложной технической задачей.

Сегодня в электрических сетях отсутствуют надежные датчики температуры, которые могут быть размещены внутри бака трансформатора, находиться там постоянно и контролировать значение температуры наиболее нагретой точки изоляции обмоток. Кроме того, в различных эксплуатационных режимах такая точка может менять свое место расположения внутри бака, что делает установку таких датчиков малоэффективной.

Одним из вариантов решения поставленной задачи является моделирование нестационарных тепловых режимов внутри бака трансформатора.

В статье изложены некоторые результаты такого моделирования с использованием программного пакета SolidWorks.

Анализ нормативной базы. Общие сведения об оценке температурного режима и определении нагрузочной способности силовых масляных трансформаторов изложены в межгосударственном стандарте «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов» [2]. Стандарт МЭК 354 при переходе на пятизначную нумерацию получил обозначение IEC 60354. Со временем был разработан и введен в действие обновленный стандарт IEC 60076-7 [3].

В основе расчета нагрузочной способности силовых масляных трансформаторов лежит тепловой износ изоляции обмоток – необратимый процесс, характеризующийся тем, что под воздействием температуры и ряда других факторов физико-химические свойства твердой изоляции обмоток с течением времени претерпевают изменения. При этом изоляция обмоток становится хрупкой и теряет способность выдерживать механические нагрузки от вибраций или коротких замыканий, а скорость старения изоляции обмоток зависит от температуры и длительности ее воздействия.

Зависимости изменения температуры масла $\Theta_m(t)$ и температуры наиболее нагретой точки обмотки $\Theta_{\text{ннт}}(t)$ силового масляного трансформатора ТМН-6300/110 при изменении коэффициента загрузки по току K приведены на рис. 1.

Моделирование. Как отмечено выше, моделирование нестационарных тепловых режимов силовых масляных трансформаторов выполнялось с использованием программного пакета SolidWorks [4], позволяющего с использованием встроенной библиотеки создавать необходимый конструктивный элемент (силовой трансформатор), заполнять его внутренний объем элементами (магнитопровод с обмотками), средой с определенными свойствами (трансформаторным маслом) и моделировать внутренние нестационарные термодинамические процессы.

Общий вид модели активной части трансформатора показан на рис. 2, а модель трансформатора в сборе (с радиаторами охлаждения) – на рис. 3.

Следующим шагом является моделирование внутренних теплообменных процессов в баке трансформатора. Для этого задаются общие настройки, а также вводятся параметры трансформаторного масла. Пример задания начальных условий модели расширительного бака показан на рис. 4, а собственно бака трансформатора – на рис. 5.

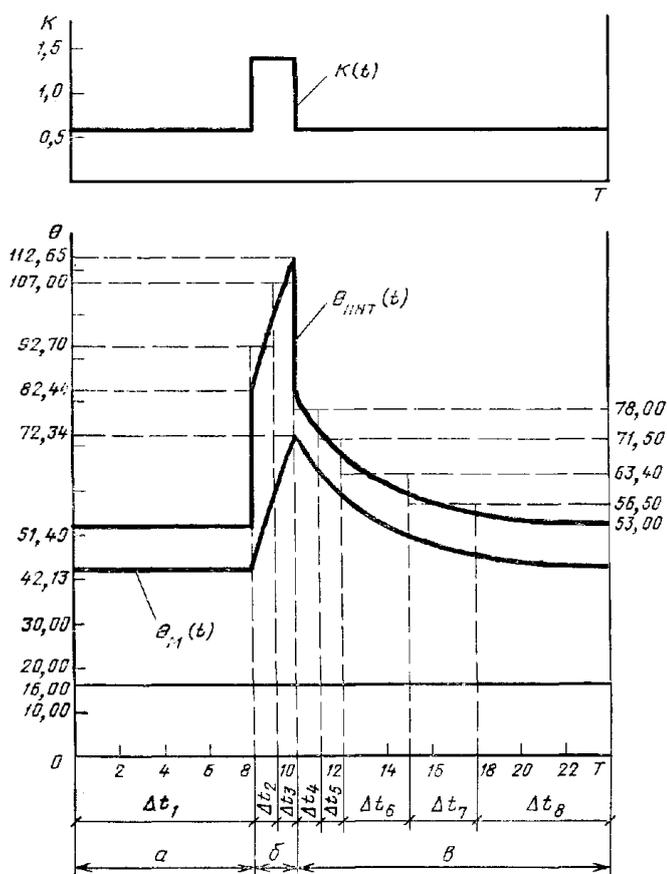


Рис. 1. Зависимости изменения температуры масла $\Theta_m(t)$ и температуры наиболее нагретой точки обмотки $\Theta_{\text{ннт}}(t)$ силового масляного трансформатора ТМН-6300/110 при изменении коэффициента загрузки по току K .

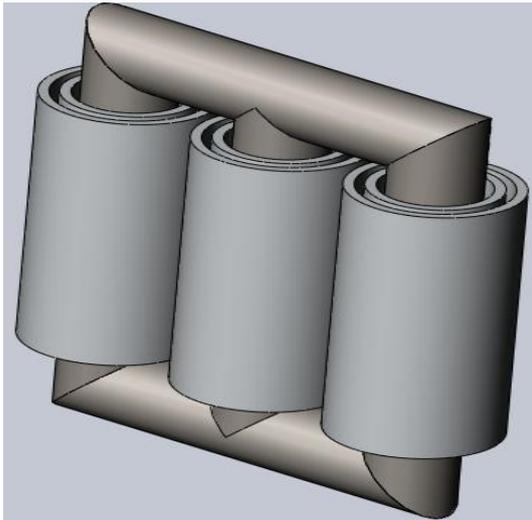


Рис. 2. Модель магнітопровода з обмотками

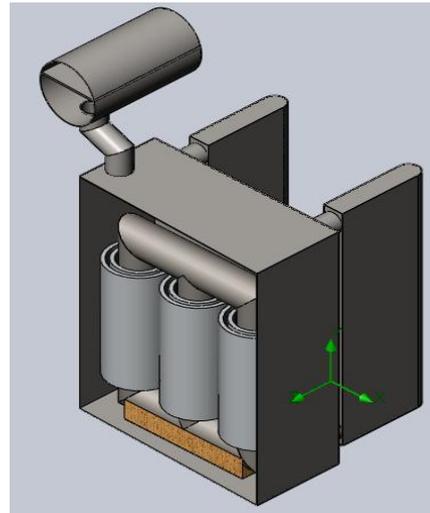


Рис. 3. Модель трансформатора в сборі

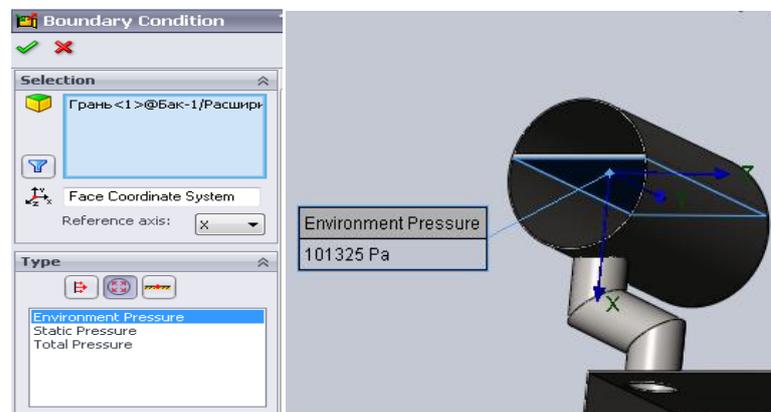


Рис. 4. Пример задания начальных условий расширительного бака

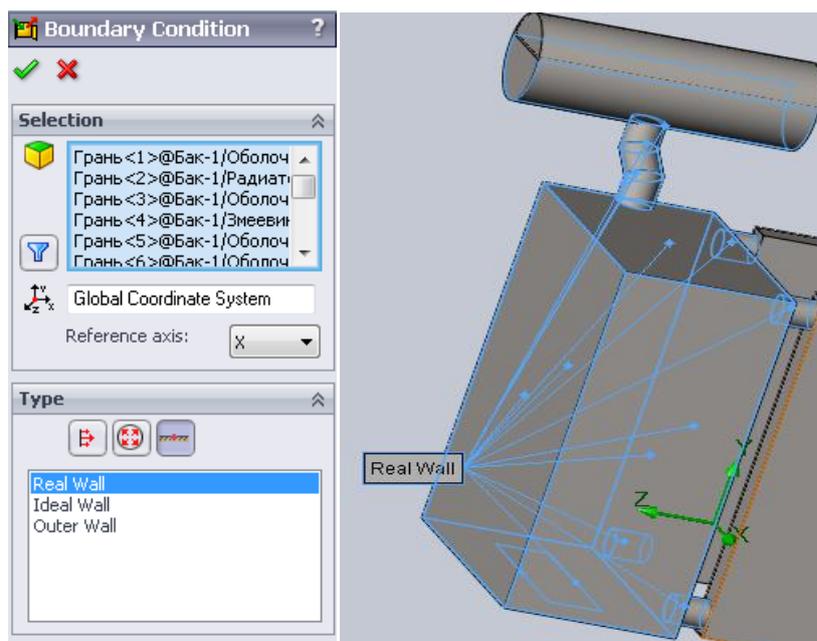


Рис. 5. Пример задания начальных условий бака трансформатора

При создании модели также задаются необходимые внешние и внутренние габаритные размеры трансформатора (параметры и толщина бака и охладителей, габариты обмоток и др.), а также электрические параметры (величина потерь мощности, коэффициент загрузки по току и др.).

Ниже приведены некоторые результаты моделирования. Распределение температуры по поверхности обмоток ВН и магнитопровода показано на рис. 6, в поперечном срезе бака – на рис. 7, а в продольном срезе бака трансформатора – на рис. 8.

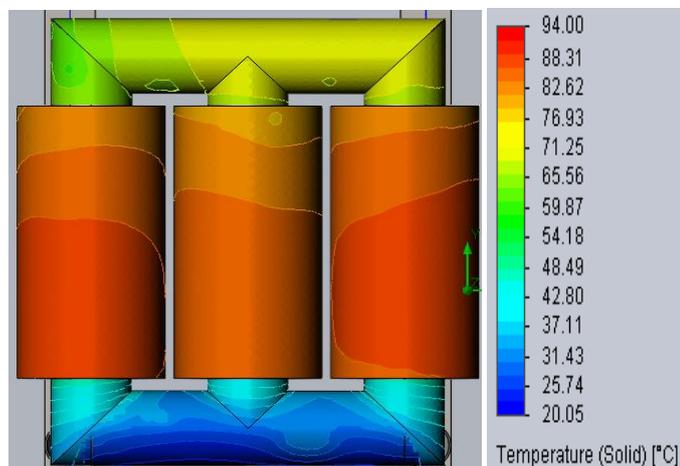


Рис. 6. Распределение температуры по поверхности обмоток ВН и магнитопровода

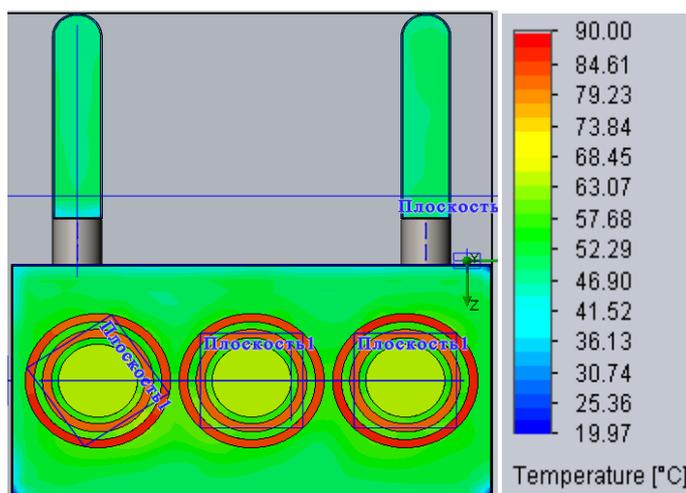


Рис. 7. Распределение температуры в поперечном срезе бака трансформатора

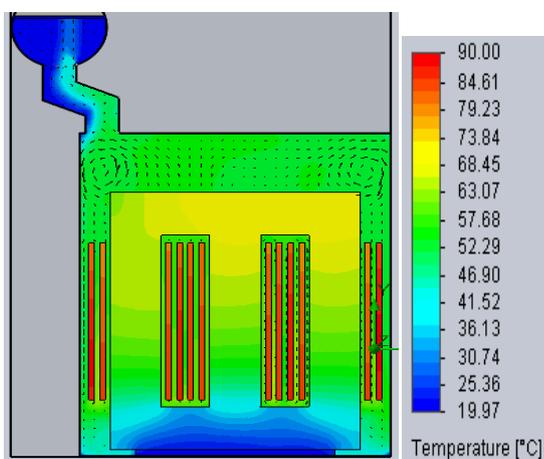


Рис. 8. Распределение температуры в продольном срезе бака трансформатора

Температурные поля скорости циркуляции масла внутри бака трансформатора показаны на рис. 9.

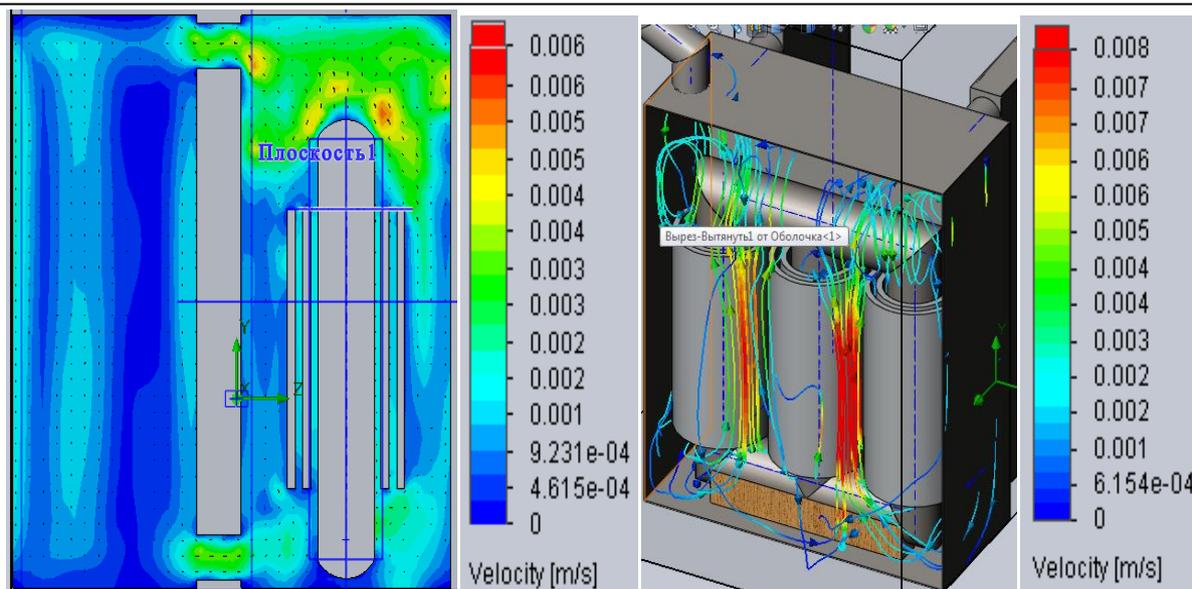


Рис. 9. Температурные поля скорости циркуляции масла внутри бака трансформатора

Выводы. Интенсификация нагрузочной способности силовых маслонаполненных трансформаторов в электрических сетях может быть достигнута только при обеспечении полного и непрерывного мониторинга его внутреннего теплового состояния на основе применения современных автоматизированных систем контроля и диагностики.

Созданная модель нестационарных тепловых режимов силовых масляных трансформаторов позволяет с высокой точностью определить место расположения и значение температуры наиболее нагретой точки изоляции обмотки внутри бака, что в свою очередь, позволяет оперативно уточнять значение допустимой перегрузки по току силовых масляных трансформаторов в различных эксплуатационных режимах.

Список литературы.

1. Бабушкин В.М., Нейман В.А., Чевычелов В.А. Электрические сети: развитие, новые решения. Пособие для электроэнергетиков – К.: Энергетика и электрификация, 2002. – 168 с., ил.
2. МГОСТ 14209-97 (МЭК 354) Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. Дата введения 2002.01.01.
3. IEC 60076-7:2005 Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers Released: 2005-12-15.
4. Шам Тику. Эффективная работа в SolidWorks / пер. с англ. – С-Пб.: «Питер Принт», 2004.

S. Kazanskiy, V. Mossakovskiy, D. Pechonkin

SIMULATION OF NON-STATIONARY THERMAL MODES OF OIL POWER TRANSFORMERS

The content examined is of the active standard for oil power transformer loads. It shows the sequence of simulation of non-stationary thermal modes of oil power transformers in electric networks.

Objective: to increase the operational reliability of electrical networks and systems through the intensification of the capacity load of oil power transformers.

Technique of realization: the introduction of advanced algorithms and software simulation of unsteady thermodynamic processes of oil power transformers for the automated control of the internal thermal state.

Results: The analysis of the main provisions of the existing regulations on the load capacity of oil power transformers; investigated is the expediency of SolidWorks software package for the simulation of thermal modes of oil power transformers.

Conclusions: it has been shown that the introduction of advanced algorithms and software packages allows for the creation of an effective model for the automated control of non-stationary thermal modes of oil power transformers in electric networks.

Key words: power transformer, load capacity, non-stationary thermal modes, simulation.

1. Babushkin V.M., Neiman V.A., Chevychelov V.A. Electrical networks: the development and new solutions. Allowance for electric power engineering - K. : Power Industry and Electrification, 2002. - p. 168, il.
2. MGOST 14209-97 (IEC 354) Manual load power oil transformers. Date of introduction 2002.01.01.
3. IEC 60076-7: 2005 Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers. Released: 2005-12-15.
4. Sham Tickoo. Effective work in SolidWorks / transl. from english - Edited by: «Peter Print», 2004.

УДК 621.314

С.В. Казанський, канд. техн. наук, доцент; **В.І. Моссаковський**, **Д.П. Печьонкін**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ СИЛОВИХ ОЛИВНИХ
ТРАНСФОРМАТОРІВ

Розглянуто зміст чинного стандарту з навантажень силових оливних трансформаторів. Наведено послідовність моделювання нестационарних теплових режимів силових оливних трансформаторів в електричних мережах.

Мета дослідження: підвищення експлуатаційної надійності електричних мереж і систем за рахунок інтенсифікації навантажувальної здатності силових оливних трансформаторів.

Методика реалізації: запровадження новітніх алгоритмів і програм моделювання нестационарних термодинамічних процесів силових оливних трансформаторів для автоматизованого контролю внутрішнього теплового стану.

Результати дослідження: проаналізовано основні положення чинних нормативних документів з навантажувальної здатності силових оливних трансформаторів; досліджено доцільність застосування програмного пакету SolidWorks для моделювання теплових режимів силових оливних трансформаторів.

Висновки: показано, що впровадження сучасних алгоритмів і програмних пакетів дозволяє створити ефективну модель автоматизованого контролю нестационарних теплових режимів силових оливних трансформаторів в електричних мережах.

Ключові слова: силовий трансформатор, навантажувальна здатність, нестационарний тепловий режим, моделювання.

Надійшла 08.04.2015

Received 08.04.2015

УДК 621.43.016.7

В.Г. Петренко, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
А.С. Соломаха, канд. техн. наук; **П.О. Барабаш**, канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВПОРСКУВАННЯ
ЗРІДЖЕНОГО ПРОПАНУ ДО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО
ЗГОРАННЯ

Робота присвячена дослідженню процесу впорскування зрідженого газу до впускного колектору двигуна внутрішнього згорання на сталому режимі роботи з позицій класичної термодинаміки. Розроблено методику розрахунку параметрів газоповітряної суміші в залежності від початкових параметрів повітря та зрідженого газу на вході до двигуна. Розглянуто процес випаровування зрідженого пропану після його впорскування до впускного трубопроводу двигуна внутрішнього згорання. Показано вплив впорскування зрідженого пропану на температуру заряду та на наповнення циліндру і, відповідно, на енергетичні показники двигуна. Виконано розрахунок для двох режимів роботи двигуна – на повному навантаженні та в режимі холостого ходу.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, зріджений нафтовий газ, газова система живлення двигуна

© Петренко В.Г., Соломаха А.С., Барабаш П.О., 2015