

2. Эффективность запропонованого способу реалізації моделей реального часу підтверджена практикою використання цих математичних моделей для розв'язання задач тестування фізичних систем регулювання збудження синхронних генераторів електростанцій.

1. Плахтина О.Г., Куцик А.С., Сломінський М.М. *Комп'ютерна технологія налаштування і випробування пристроїв керування і захисту електромеханічних і електроенергетичних систем // Технічна електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність, ч. 2. – К., 2006. – С. 43–46.* 2. Плахтина О.Г., Куцик А.С., Тутка В.В. *Програмно-технічний комплекс для налаштування і випробування систем самозбудження генераторів електростанцій // Технічна електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність – 2008, ч. 1. – К., 2008. – С. 40–43.*

УДК 621.314

М.А. Поляков, С.И. Климов

Запорожский национальный технический университет

## МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАНЫХ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

*О Поляков М.А., Климов С.И., 2009*

**Розглянуто особливості отримання і методи інтелектуального оброблення даних моніторингу параметрів силового трансформатора, а також спектральний аналіз, фільтрацію і прогнозування. Запропоновано змінювати інтенсивність моніторингу залежно від технічного стану трансформатора.**

**The features of receipt and methods of the intellectual processing of data of monitoring of parameters of power transformer are considered, including a spectral analysis, filtration and prognostication. It is suggested to change monitoring intensity depending on the technical state of transformer.**

**Постановка проблеми.** Эксплуатация сложных и ответственных элементов систем передачи и распределения электроэнергии, к которым относится силовые трансформаторы, все чаще выполняется непрерывным мониторингом параметров [1]. Системы мониторинга и управления (СМУ) силового трансформатора содержат мощные вычислительные устройства, которые способны накапливать и обрабатывать большие массивы данных о параметрах и состояниях трансформатора.

В настоящее время данные мониторинга отображаются на экране дисплея в виде текущих значений и трендов (исторических и реального времени) и сохраняются в виде файлов на машинном носителе компьютера СМУ. Эти файлы представляют собой таблицы результатов измерений (первичные данные) снабженные метками времени. Измерения производятся с постоянным шагом по времени, например две минуты.

Как правило, силовые трансформаторы эксплуатируются в условиях нестационарных нагрузок и действия случайных дестабилизирующих факторов внешней среды, что затрудняет непосредственный анализ первичных данных мониторинга. Под действием нагрузки и времени изменяется техническое состояние трансформатора в целом и отдельных его частей, что требует соответствующего изменения интенсивности мониторинга. Интенсивность мониторинга будем характеризовать номенклатурой контролируемых параметров трансформатора, количеством измерений первичных параметров в единицу времени, номенклатурой и частотой запуска оценочных и диагностических процедур, выполняемых на основе данных мониторинга.

Одной из важных целей мониторинга является получение исходной информации для оценки термического износа изоляции обмоток трансформатора. Не решенной научно-технической проблемой в этой области является автоматизация управления интенсивностью мониторинга основанная на интеллектуальном анализе данных мониторинга и моделях технического состояния трансформатора (объекта управления).

**Анализ последних достижений и публикаций.** За последние годы расширилась область использования данных мониторинга. Традиционно это информирование в реальном времени оператора или вышестоящей системы управления подстанцией о текущих значениях параметров трансформатора, которые необходимы для планирования действий по текущему управлению трансформатором, подстанцией. Кроме того, эти данные могут использоваться для:

- расчета обобщающих показателей соответствия трансформатора нагрузке и тенденций изменения этих показателей [2];
- расчета рациональных режимов управления трансформатором, например, управления охлаждением, прогнозирования нагрузки трансформатора и скоростей расхода его ресурсов, например ресурса изоляции обмоток [3];
- идентификации тепловых параметров трансформатора, с целью уточнения допустимых нагрузок данного и однотипных трансформаторов; прогнозирования динамики состояния системы охлаждения трансформатора и др. [4].

Наиболее близкими к поставленной проблеме являются data mining методы прогнозирования электропотребления. В работе [5,] отмечается, что потребления электроэнергии подчиняются циклическим, функциональным и случайным тенденциям, из которых наиболее прогнозируемы циклические зависимости (как правило, суточные, недельные и годовые). Вместе с тем, горизонты и лаги автокорреляционных параметров прогноза не учитывают технические параметры и режим нагрузки силового трансформатора.

**Задача исследований.** Проведенный анализ указывает на необходимость выбора показателей для управления интенсивностью мониторинга в целях оценки термического износа изоляции обмоток трансформатора, фильтрации первичных данных мониторинга и определения лагов автокорреляционных параметров нагрузки трансформатора с учетом его технических параметров.

**Изложение основного материала.** На рис. 1 и 2 приведены первичные данные мониторинга тока нагрузки трансформатора, которые подтверждают зависимость нагрузки от статуса дня (рабочий, выходной), наличие суточных циклов и зашумленность тренда из-за проявления случайных тенденций в потреблении электроэнергии.

Методы обработки первичных данных выберем исходя из целей мониторинга и физических процессов в трансформаторе при нестационарной нагрузке. Среди целей мониторинга тока нагрузки выделим контроль тепловых процессов в изоляции обмоток трансформатора, оценку расхода и определение остаточного ресурса изоляции обмоток. В соответствии с [6] скорость расхода ресурса изоляции обмоток зависит от тока нагрузки и температуры окружающей среды.

Для определения параметров фильтрации первичных данных мониторинга выполнен частотный анализ тренда нагрузки с использованием преобразования Фурье. Как видно из частотного спектра изменений тока нагрузки в первый понедельник (см. рис. 2) приведенного на рис. 3, амплитуда высших гармоник резко уменьшается с ростом номера гармоники. Поэтому влиянием гармоник с номером больше некоторого  $n$  можно пренебречь.

С этой целью выполним цифровую фильтрацию первичных данных тока нагрузки с помощью экспоненциального фильтра

$$\hat{I}(kh) = a\hat{I}[(k-1)h] + (1-a)I(kh), \quad (1)$$

где  $\hat{I}(kh)$  – отфильтрованное значение;  $\hat{I}[(k-1)h]$  – предыдущее значение отфильтрованного сигнала;  $I(kh)$  – последнее значение измеренного сигнала;  $a$  – параметр фильтра;  $h$  – интервал выборки;  $k$  – номер в последовательности входных значений.

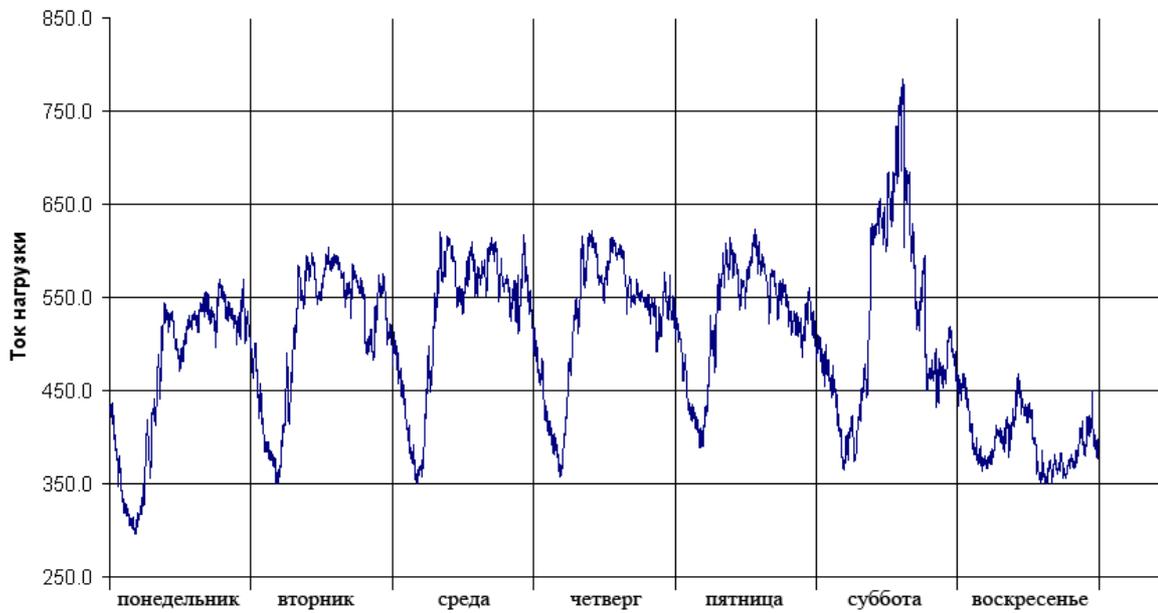


Рис. 1. Зависимость тока нагрузки от статуса дня

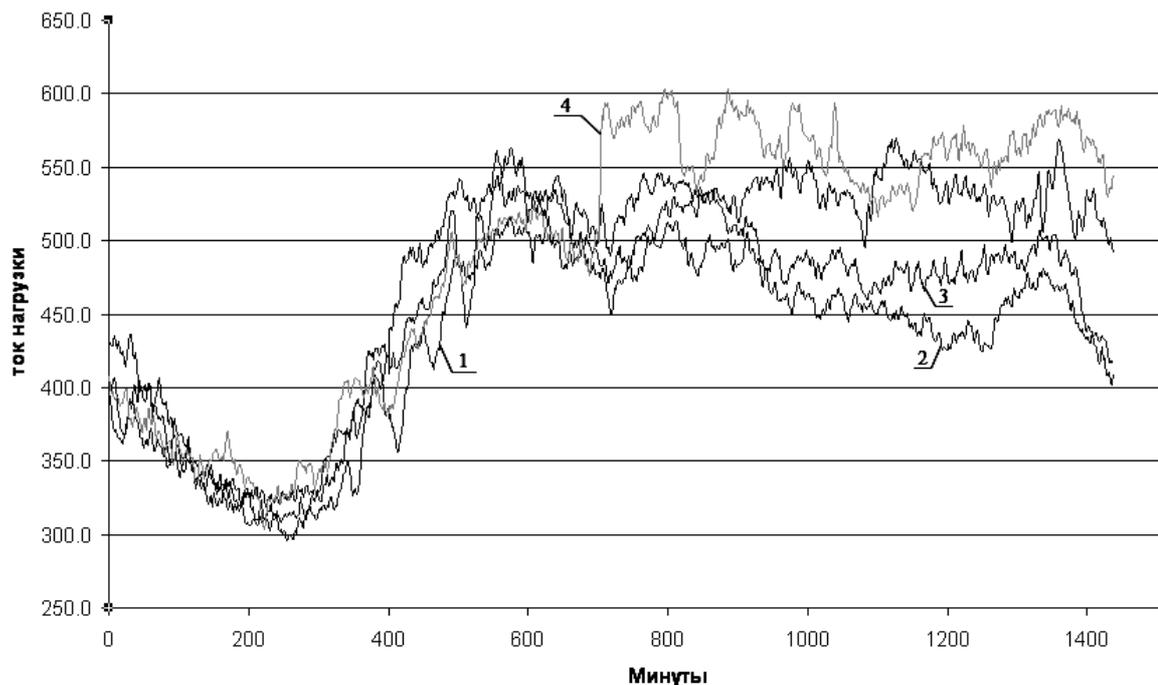


Рис. 2. Суточные циклы тока загрузки

Параметр фильтра определим по формуле

$$a = 1 - \frac{h}{t}, \quad (2)$$

где  $t$  – постоянная времени эквивалентного аналогового фильтра с частотой среза  $f_c$ ,  $t = 1/2\pi f_c$ .

Частоту  $f_c$  определим из уравнения зависимости коэффициента затухания аналогового фильтра от частоты:

$$|G| = 1 / \sqrt{\frac{f^2}{f_c^2} + 1}, \quad (3)$$

где  $|G|$  – модуль желаемого коэффициента затухания сигнала с частотой  $f$ , которая соответствует  $n$ -й гармонике частотного спектра токов нагрузки. Если анализируется суточный цикл изменений тока нагрузки, то частота первой гармоники  $1/60*60*24$  Гц. Предположим что требуется пренебречь гармониками с  $n \geq 100$ , причем, амплитуда сотой гармоники должна быть ослаблена в десять раз ( $|G| = 0.1$ ), интервал выборки  $h = 120$  секунд, тогда расчет по формулам (1)–(3) дает  $a = 0.9$ .

Одной из целей анализа данных мониторинга является прогнозирование тока нагрузки. Прогнозирование предлагается проводить с использованием корреляции прогнозируемого значения со значением в аналогичное время аналогичных по статусу предыдущих суток и отклонений текущих суток в некотором интервале, предшествующем моменту времени, когда выполняется прогнозирование:

$$I(t_p) = I(t_p - \Delta t_1) + \frac{1}{N+1} \sum_{j=0}^N [I(t_c - jh) - I(t_c - jh - \Delta t_1)], \quad (4)$$

где  $I(t_p)$  – прогнозируемое значение тока на момент времени  $t_p$ ;  $\Delta t_1$  – лаг аналогичных по статусу предыдущих суток, то есть для текущего понедельника это будет прошлый понедельник и  $\Delta t_1 = 168$  часов;  $I(t_c - jh)$ ,  $I(t_c - jh - \Delta t_1)$  – отфильтрованные значения токов зафиксированные на моменты времени  $(t_c - jh)$  и  $(t_c - jh - \Delta t_1)$ , соответственно;  $t_c$  – текущий момент времени, то есть время, когда выполняется прогнозирование;  $N$  – количество интервалов времени на которых проводится усреднение. Величину  $N$  определим из условия:

$$Nh = (0.5 \div 1.0)t_o, \quad (5)$$

где  $t_o$  – тепловая постоянная времени масла трансформатора а  $h \leq t_w / 2$ , где  $t_w$  – тепловая постоянная времени обмотки трансформатора. Проект стандарта [6] рекомендует для трансформаторов средней и большой мощности  $t_o = (90 \div 210)$  минут, а  $t_w = (7 \div 10)$  минут в зависимости от типа охлаждения. Разность  $(t_p - t_c)$  будем называть горизонтом прогноза. Для целей опережающего управления охлаждением трансформатора [3] достаточным будет горизонт  $(2 \div 3)t_o$ . За это время, путем изменения режима охлаждения, можно максимально возможно компенсировать влияние прогнозируемых изменений тока на расход ресурса изоляции обмоток трансформатора. Описанная выше методика прогнозирования может быть также полезна для восстановления данных при отказе датчиков тока нагрузки.

Нестационарная нагрузка трансформатора и изменение температуры окружающей среды влияют на риски отказа изоляции обмоток [6]. Для управления интенсивностью мониторинга параметров в зависимости от этих рисков предлагается использовать текущий режим нагрузки: режим систематических нагрузок (СН) (normal cyclic loading), режим продолжительных аварийных перегрузок (ПАП) (long-time emergency loading) и режим кратковременных аварийных перегрузок (КАП) (short-time emergency loading), режим недопустимых перегрузок (НП) (emergency loading). В режиме СН устанавливается минимальная интенсивность мониторинга, которая увеличивается при изменении режимов от СН к ПАП, от ПАП к КАП. В режиме НП интенсивность мониторинга

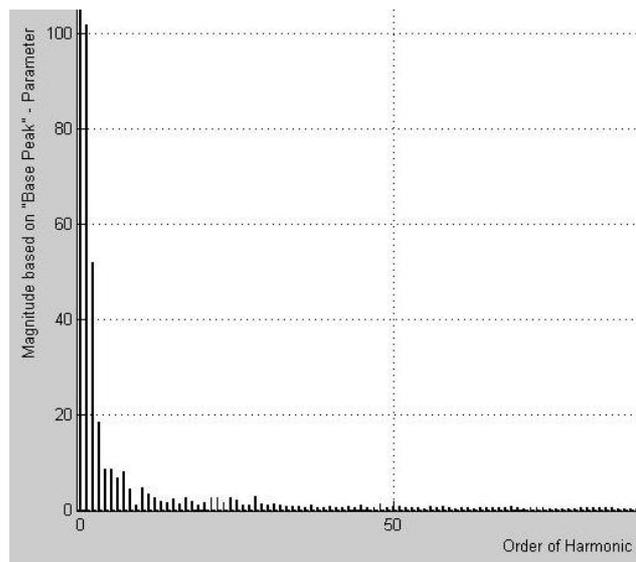


Рис. 3. Частотный спектр колебаний тока нагрузки в первый понедельник

должна быть максимально возможной. Для оценки показателя текущего режима нагрузки используем логические процедуры, предложенные в [2].

**Выводы.** 1. Предложено определять параметры фильтрации данных мониторинга трансформатора системой мониторинга на основе анализа частотного спектра колебаний нагрузки. Обоснованы параметры экспоненциального фильтра для фильтрации данных мониторинга нагрузки трансформатора.

2. Обоснован горизонт и корреляционные параметры краткосрочного прогноза нагрузки трансформатора, используемого для опережающего управления охлаждением трансформатора [2].

3. Предложено корректировать интенсивность мониторинга данных нагрузки в процессе их поступления, в зависимости от значения показателя режима нагрузки трансформатора, что позволяет сократить объем памяти системы мониторинга для долговременного хранения данных.

Результаты работы предполагается использовать для совершенствования систем мониторинга и управления силовых трансформаторов разработки ООО “Энергоавтоматизация” [7].

1. Рассальский А.Н. Система мониторинга и управления силовых трансформаторов // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2005. – № 2. – С. 46–50. 2. Поляков М.А. Определение и использование показателя режима нагрузки силового трансформатора в системе мониторинга и управления трансформатором // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2009. – № 2. – С. 43–46. 3. Поляков М.А. Нечеткий регулятор охлаждения силового масляного трансформатора на основе прогноза изменения возмущающих факторов // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2007. – № 3. – С. 47–50. 4. Поляков М.А. Идентификация тепловых параметров силового масляного трансформатора по данным мониторинга параметров // *Вісн. Східноукр. нац. ун-ту*. – 2007. – № 11, ч. 1(117). – С. 167–173. 5. Щокін В.П., Кузьменко А.С., Щокіна О.В. Метод короткотривалого нейронечіткого прогнозу електроспоживання підрозділами ВАТ “ПВНГЗК” // *Праці ЛВ МАІ*. – 2007. – № 1 (14). – С. 84–89. 6. IEC 60076-7 Ed. 1: Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers. Final draft international standard. 7. <http://www.enera.com.ua>.

УДК 621.311.317

О.М. Равлик, Н.О. Равлик

Національний університет “Львівська політехніка”

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СХЕМАХ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

© Равлик О.М., Равлик Н.О., 2009

**Розроблена цифрова модель власних потреб електричних станцій для дослідження процесів пуску і самозапуску двигунів з метою оптимізації їх режимів.**

**The digital model of own needs of power plants is developed for research of processes of start-up and self-start of electric motors for optimisation of their regimes.**

**Постановка проблеми.** Ефективне функціонування електричних станцій здебільшого залежить від правильної роботи обладнання власних потреб. Цю проблему, насамперед, вирішують на стадії проектування з метою оптимізації робочих режимів, а також режимів пуску і самозапуску двигунів власних потреб.

**Аналіз останніх досліджень.** Результати експлуатації власних потреб електричних станцій показують, що з часом, враховуючи старіння комутаційних апаратів і всього обладнання, виникають проблеми пуску і самозапуску двигунів власних потреб за рахунок перевищення