

Е.Ю. КОМКОВ
канд. техн. наук,
ОАО “Ивэлектроналадка”,
А.И. ТИХОНОВ
д-р техн. наук, профессор
(ИГЭУ)

E.Yu. KOMKOV,
A.I. TIKHONOV

Проектирование базы данных системы мониторинга силовых трансформаторов

В данной статье рассматриваются вопросы проектирования и использования базы данных системы мониторинга силовых трансформаторов.

Ключевые слова: база данных, система мониторинга, нейронная сеть, тепловая модель, управление охлаждением.

Database design for power transformer monitoring system

The paper discusses the design and application of a database for power transformer monitoring system.

Keywords: database, monitoring system, neuron network, thermal model, cooling control.

Одна из задач, решаемая системой мониторинга – управление охлаждением трансформатора, в которой СУБД выполняет функции подготовки необходимой информации для принятия решения по управляющим воздействиям и сохранение результатов прогноза с целью последующего анализа.

Обмен информацией с базой данных осуществляется в соответствии со структурной схемой, показанной на рис. 1. Основными источниками информации

являются: данные измерений датчиков, установленных на трансформаторе; система проектирования, предоставляющая данные о конструктивных параметрах трансформатора; подсистема управления охлаждением трансформатора, сохраняющая в базе данных информацию по управляющим воздействиям.

База данных системы мониторинга представляет нормализованную 3-ю форму, исключая избыточность, обеспечивающую достоверность и целостность

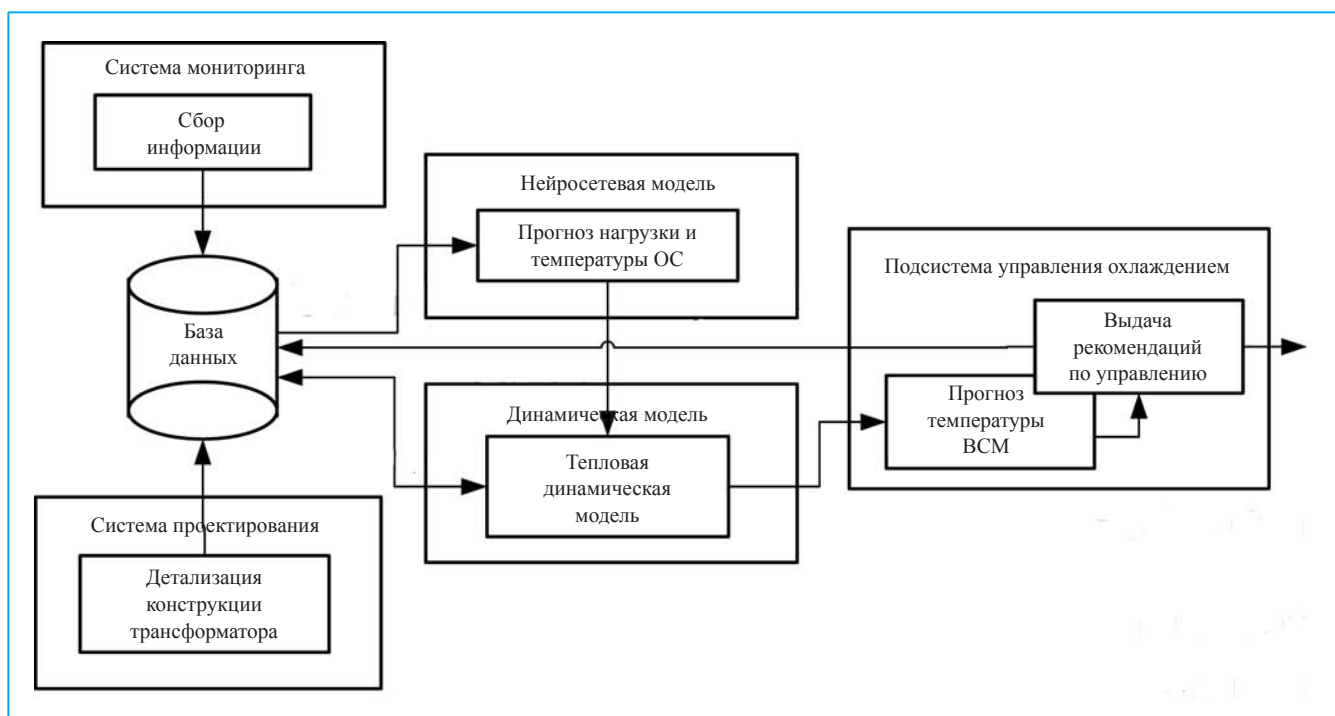


Рис. 1. Структурная схема обмена информацией

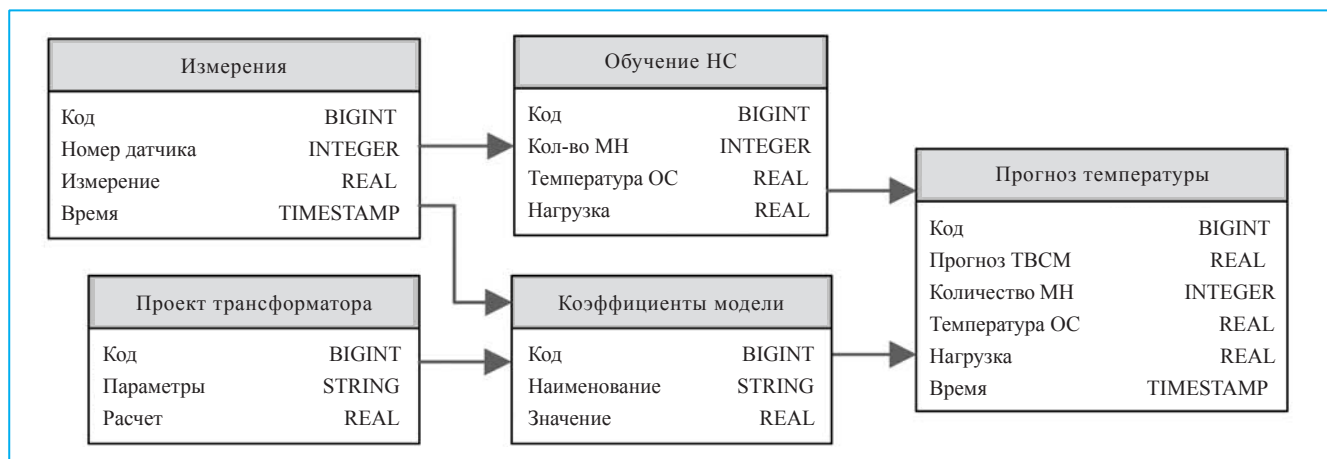


Рис. 2. Структура базы данных системы мониторинга

информации. При работе с базой данных используется объектно-ориентированный подход, что обеспечивает масштабируемость, наследование свойств объектов.

Структура базы данных представлена на рис. 2 и содержит следующие таблицы: “Измерения”, “Проект трансформатора”, “Обучение НС”, “Прогноз температуры”, “Коэффициенты модели”.

Основными потребителями информации в подсистеме управления охлаждением являются математические модели, выполняющие функции выдачи рекомендаций по управляющим воздействиям, к ним относятся: нейросетевая модель, прогнозирующая нагрузку и температуру окружающей среды и тепловая динамическая модель, моделирующая реакцию трансформатора на управляющее воздействие.

Для работы нейросетевой модели выполняется ее обучение выборками данных по температуре окружающей среды и нагрузке трансформатора, отвечающих необходимым критериям. Работа тепловой динамической модели осуществляется с учетом решения системы дифференциальных уравнений и подбором коэффициентов соответствующих заданному режиму работы трансформатора, получаемых на основе информации системы проектирования и статистических данных системы мониторинга.

Работа с базой данных происходит путем заполнения таблиц базы из различных источников.

Первая таблица “Измерения” содержит данные о работе трансформатора полученные с датчиков системы мониторинга (таблица), включает номер датчика, числовой параметр и метку времени.

Для каждого контролируемого (измеренного или расчетного) параметра анализируется его значение и статус. Ведется запись в БД значения параметра, его выход за установленные пределы и возврат в норму, если требуется, генерируется соответствующее событие с присвоением метки времени и отображением в списке событий системы.

Список параметров контролируемых системой мониторинга см. таблицу.

Список параметров контролируемых системой мониторинга

Наименование сигнала	ТС	ТИ	Параметры сигнала
Ток нагрузки трансформатора		3	0 – 5 мА
Температура верхних слоев масла		1	4 – 20 мА
Температура окружающего воздуха		1	4 – 20 мА
Давление во вводах		3	4 – 20 мА
Состояние маслонасосов	5		0 – 24 В
Работа маслонасосов		5	0 – 5 мА
Итого:	5	8	

Вторая таблица “Проект трансформатора”, содержит результаты работы проектной модели трансформатора. Эти данные использует тепловая динамическая модель для расчета коэффициентов системы дифференциальных уравнений.

Модель реализована на базе однонаправленной функции f , осуществляющей поверочный расчет, преобразуя подмножество входных величин \mathbf{P} , характеризующих конструкцию трансформатора, в подмножество выходных величин \mathbf{P} , характеризующих параметры работы трансформатора:

$$\check{\mathbf{P}} = \{\check{P}_i \mid \check{P}_i \in \check{\mathbf{P}} \subset \mathbf{P} \wedge \check{P}_i \neq f(\mathbf{F})\}. \tag{1}$$

$$\hat{\mathbf{P}} = \{\hat{P}_i \mid \hat{P}_i \in \hat{\mathbf{P}} \subset \mathbf{P} \wedge \hat{P}_i = f(\mathbf{F})\}. \tag{2}$$

Поиск решения существующего трансформатора осуществляется методом переменной метрики на основе паспортных данных и известных характеристик устройства.

Третья таблица “Обучение НС” содержит выборки данных из статистики по эксплуатации трансформатора необходимые для обучения нейронной сети. Это таблица, в которую помещаются данные о нагрузке и температуре окружающей среды за семь предшествующих дней [1].

Нейронная сеть выполняет прогнозирование нагрузки трансформатора и температуры окружающей среды, имеющих зачастую случайный характер. В модели используется сеть с нечеткой логикой, представленная следующим образом: E – универсальное подмножество, x – элемент E , а G – некоторое свойство. Подмножество A универсального множества E , элементы которого удовлетворяют свойству G , определяются как множество упорядоченных пар:

$$A = \{\mu_A(x)/x\}, \quad (3)$$

где $\mu_A(x)$ – характеристическая функция принадлежности, указывающая степень принадлежности элемента x к подмножеству A .

Математическая модель для нечеткой сети типа *логический вывод Сугэно* представлена следующим выражением:

$$F_{out} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \quad (4)$$

где w_i – сила связи между входными величинами x и y , $i = 1..n$, z_i – логический вывод на основе заданных нечетких правил

$$w_i = \text{AndMetod}(F_1(x), F_2(y)), \quad (5)$$

$$z = ax + by + c. \quad (6)$$

Четвертая таблица “Прогноз температуры” сохраняет результаты прогноза управляющих воздействий и текущего состояния системы охлаждения при включенных охладителях и маслонасосах, нагрузке трансформатора, температуре окружающей среды (рис. 3).

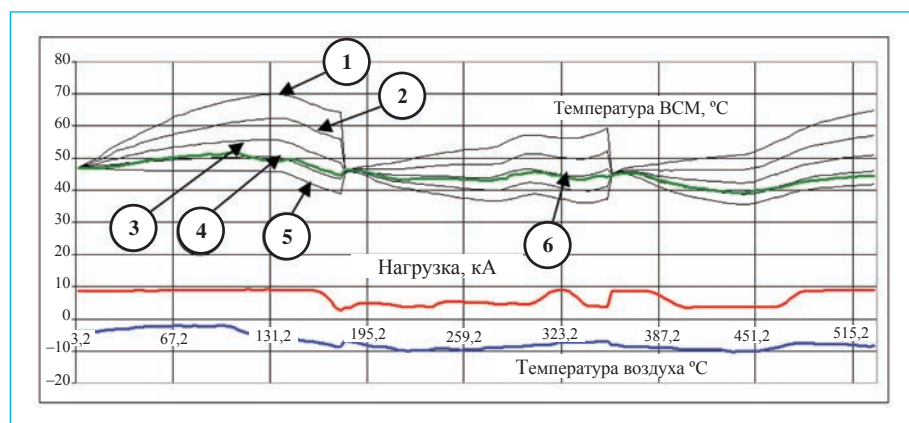


Рис. 3. Результаты работы модели управления охлаждением силовых трансформаторов

Пятая таблица “Коэффициенты модели” предназначена для сохранения уточненных коэффициентов теплоотдачи с поверхности охладителей. Уточнение коэффициентов производится путем сравнения экспериментальных данных из таблицы “Измерения” и результатов расчета из системы проектирования трансформатора.

Поиск значения коэффициентов теплоотдачи с поверхности охладителей реализуется методом переменной метрики *Дэвидона-Флетчера-Пауэлла*. В качестве функции цели используется среднеквадратичное расхождение между расчетной кривой, получаемой путем решения системы уравнений при текущем значении коэффициентов, и реальной кривой в точках фиксации значений системой мониторинга.

Показания датчиков установленных на трансформаторе записываются в базу данных с периодичностью 10 минут, в случае возникновения какого-либо события в этот промежуток времени производится дополнительное сохранение измеряемых параметров с текущей меткой времени.

Формируя различные запросы к базе данных, программное обеспечение системы мониторинга позволяет: выводить на экран тренды контролируемых параметров, анализировать изменение показаний нескольких датчиков на одном графике, сравнивать результаты прогноза управляющих воздействий с реальным поведением трансформатора.

На основе информации базы данных и измерений в режиме реального времени выполняется расчет следующих диагностических параметров оборудования:

- допустимое время работы трансформатора при потере охлаждения;
- ресурс вентиляторов (по группам) и маслонасосов по отработанным моточасам и количеству пусков;
- температура верхних слоев масла, сравнение ее с фактической;
- коэффициенты теплопередачи охладителей при сравнении температуры масла на входе и выходе охладителей;
- общий ресурс трансформатора.

Таким образом, к базе данных системы мониторинга

предъявляются достаточно серьезные требования по объему хранимой информации и быстрой обработки данных в режиме реального времени. Использование нейронных сетей и процесс их обучения задействует многие возможности по программированию СУБД.

Евгений Юрьевич Комков
 ОАО “Ивэлектронладка”.
 Телефон: (4932) 230-230 (доб. 231).
 Факс: (4932) 298-822.

E-mail: office@ien.ru
 www.ien.ru

Андрей Ильич Тихонов
 Ивановский государственный
 энергетический университет.

Список литературы

1. Комков Е.Ю. Разработка модели управления системой охлаждения силовых трансформаторов / Комков Е.Ю., Тихонов А.И. // Автоматизация в промышленности. 2008. № 8.