

и без учета  $k$ -го объекта в инфраструктуре;  $\beta$  и  $\beta_k$  - соответствующие ранговые коэффициенты.

Таким образом, совершенно новым предложением в диагностике является применение рангового анализа в качестве метода диагностирования силовых трансформаторов.

В качестве апробации данной методики был проведен анализ оценки состояния главной изоляции силовых автотрансформаторов -500 кВ (далее силовых трансформаторов) магистральных электрических сетей [3].

Результаты прогноза сопротивления главной изоляции обмоток ВН и фактические результаты испытаний за 2004 год приведены на рисунке 4. Ошибка прогноза в целом лежит в пределах 10%.

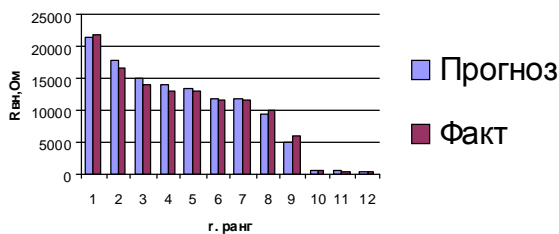


Рис. 4. Сравнение результатов прогноза с экспериментальными данными сопротивления главной изоляции обмоток ВН

По результатам исследований установлено, что ранговое параметрическое распределение характеристики главной изоляции позволяет более гибко оценить ее состояние и спрогнозировать поведение на последующем интервале времени. Из полученных данных видно, что главная изоляционная система силовых трансформаторов АОДЦТГ будет ухудшаться. Выявленные отклонения параметров изоляции с помощью рангового анализа, свидетельствующие об ослаблении изоляционной системы в трансформаторе АОДЦТГ, подтверждаются результатами ХАРГ и физико-химическими анализами.

Предлагаемый метод может быть использован на практике при комплексной оценке состояния трансформаторов, что позволяет использовать оценку изоляции по фактическому состоянию и рассматривать отдельно не каждый автотрансформатор, а сообщество всех автотрансформаторов, выделенных в пространстве и времени, проводить планирование работ по ремонту и диагностике по фактическому состоянию, осуществлять прогноз изменения сопротивления изоляции на следующий временной интервал.

#### Список литературы:

1. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов / Б.А. Алексеев. - М.: НЦ ЭНАС, 2002. - 216 с.
2. Кудрин Б.И. Введение в технетику. 2-е изд., переработ. и доп. / Б.И. Кудрин - Томск: Изд-во Томск. гос. унта, 1993. - 552 с.
3. Ю.П. Попов, А.Г. Степанов, Е.Ю. Сизганова, А.Ю. Южанников Использование рангового Н-распределения в качестве эффективного способа обра-

В общем случае процесс структурно-параметрической оптимизации многокритериальный и базиру-

ботки результатов измерения и контроля изоляции силовых автотрансформаторов // Современные средства и системы автоматизации - гарантия высокой эффективности производства. - Томск. Изд-во Том. Ун-та. 2003. С.173-178.

Работа представлена на заочную электронную конференцию «Фундаментальные исследования», 20-25 февраля 2005г. Поступила в редакцию 19.09.2006г.

### Формализация процесса структурно-параметрической оптимизации технических систем

Филькин Н.М., Хамидуллин Р.П.  
ОАО "Ижевский автомобильный завод"

В процессе проектирования техническую систему  $S$  можно представить в виде совокупности некоторых элементов множества  $G$  и взаимосвязей между этими элементами из множества  $Q$ , т.е.:

$G_i$  –  $i$ -ое подмножество взаимозаменяемых элементов множества  $G$  ( $i = 1, \dots, n$ ;  $g_i \in G_i$ ),  $Q_i^j$  – подмножество взаимозаменяемых связей  $i$ -го элемента с другими  $j = 1, \dots, n$  ( $i \neq j$ ) элементами множества  $G$  ( $q_i^j \in Q_i^j$ ).

$$S = \langle g_1, \dots, g_n; q_1^2, \dots, q_1^n; \dots; q_k^1, \dots, q_k^n; \dots; q_n^1, \dots, q_n^{n-1} \rangle, \quad (1)$$

где  $G = \{G_1, \dots, G_n\}$ ,

$$Q = \{Q_1^2, \dots, Q_1^n; \dots; Q_k^1, \dots, Q_k^n; \dots; Q_n^1, \dots, Q_n^{n-1}\},$$

Отсутствие связей  $q_1^1, \dots, q_k^k; \dots; q_n^n$  говорит о невозможности влияния на функционирование любого элемента множества  $G$  этого же элемента. Взаимозаменяемость означает, что из подмножества  $G_i$  можно применить любой из элементов, а из подмножества  $Q_i^j$  любую реализуемую на практике связь при создании системы (1). При этом любой из элементов множества  $G$ , как и любая связь из множества  $Q$ , может отсутствовать в проектируемой системе  $S$ .

Для определенности считаем, что все связи стационарные. Влияние связей на функционирование системы  $S$ , как правило, описывается конструктивными параметрами и характеристиками, включаемыми в множество параметров и характеристик элементов множества  $G$ . Следовательно, каждому элементу множества  $g_i$  соответствует множество конструктивных параметров  $K_i$  и характеристик  $X_i$ , а связи из множества  $Q$  будут определять только структуру технической системы  $S$ :  $g_i = g_i(K_i, X_i)$ .

Математические модели  $M_i$  функционирования технической системы  $S$  в различных условиях эксплуатации, сложность, инвариантность, полнота и адекватность моделей во многом определяются множествами  $G$  и  $Q$ , т.е.:

$$M_i = M_i(G_1, \dots, G_n; Q_1^2, \dots, Q_1^n; \dots; Q_k^1, \dots, Q_k^n; \dots; Q_n^1, \dots, Q_n^{n-1}). \quad (2)$$

ется на векторном критерии эксплуатационных показателей и характеристик  $\vec{F} = (F_1, \dots, F_r)$  техниче-

ской системы  $S$ , в основу расчета которого положены математические модели (2). Следовательно,

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}(M_i) = \mathbf{F}(M_i(G_1, \dots, G_n; Q_1^2, \dots, Q_1^n; \dots; Q_k^1, \dots, Q_k^n; \dots; Q_n^1, \dots, Q_n^{n-1})). \quad (3)$$

В соответствии с изложенным, определение оптимального технического решения  $S_{\text{opt}}$  для заданной совокупности элементов множества  $G$  и взаимосвязей между этими элементами из множества  $Q$  для технической системы (1) сводится к определению оптимума

$$S_{\text{opt}} = \min(\max)_{(K_i, X_i)} [F(M_i(G_1, \dots, G_n; Q_1^2, \dots, Q_1^n; \dots; Q_k^1, \dots, Q_k^n; \dots; Q_n^1, \dots, Q_n^{n-1}))]$$

Для решения задачи структурно-параметрической оптимизации в целом предлагается принцип дискретного изменения составляющих элементов  $g_1, \dots, g_n$  технической системы  $S$  из множества  $G$  и связей  $q_1^2, \dots, q_1^n; \dots; q_k^1, \dots, q_k^n; \dots; q_n^1, \dots, q_n^{n-1}$  из множества  $Q$ , т.е. принцип перебора различных структурных схем и определение оптимального параметрического решения для каждого возможного исполнения технической системы (1). Дальнейший анализ оптимальных решений для всех возможных конструктивных исполнений технической системы  $S$  позволяет окончательно принять научно-обоснованное техническое решение.

Синтез конструкции и структурно-параметрическая оптимизация сложных технических систем при создании изделий, соответствующих мировому техническому уровню, возможны только на основе современных компьютерных систем и технологий, базирующихся на методах математического моделирования и многокритериальной оптимизации. В настоящее время изложенный формализованный процесс структурно-параметрической оптимизации применяется при выполнении проекта "Разработка научных основ расчета, проектирования и конструирования гибридных энергосиловых установок (ГЭСУ) транспортных машин и создание экспериментального образца городского автомобиля особо малого класса (квадрицикла) с ГЭСУ", выполняемого в соответствии с разделом "Проведение фундаментальных исследований в области естественных, технических и гуманитарных наук" программы Министерства образования и науки Российской Федерации "Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)".

*Список литературы:*

1. Кондрашкин А.С., Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Оптимизация параметров транспортных средств

векторного критерия  $\mathbf{F} = (F_1, \dots, F_r)$  по множествам конструктивных параметров  $K_i$  и характеристик  $X_i$  [1, 2]:

в условиях многокритериальности// Проблемы совершенствования автомобильной техники: Тезисы докладов Всесоюзного семинара. – М.: МВТУ, 1986. – С. 56-57.

2. Филькин Н.М. Методики оптимизации параметров конструкции энергосиловой установки транспортной машины. – Ижевск: ИжГТУ, 2001. – 79 с.

Работа представлена на заочную электронную конференцию с общероссийским участием «Фундаментальные исследования», 15-20 февраля 2006г. Поступила в редакцию 14.08.06г.

#### **Создание комбинированной энергосиловой установки для малолитражного легкового автомобиля**

Хамидуллин Р.П., Филькин Н.М., Фролов М.М.  
ОАО "Ижевский автомобильный завод"

Приоритетным направлением в мировом автомобилестроении является создание автомобилей с комбинированными энергосиловыми установками (КЭСУ), позволяющими существенно повысить топливную экономичность и уменьшить выбросы токсичных веществ с отработавшими газами. В КЭСУ входит два типа двигателей, как правило, тепловой (ТД) и электрический (ЭД). Исследования по данной тематике в Ижевском государственном техническом университете совместно с ОАО "Ижевский автомобильный завод" в 2005 г. проводились в соответствии с разделом "Опытно-конструкторские, технологические и экспериментальные разработки" подпрограммы "Прикладные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники" программы министерства образования и науки РФ "Развитие научного потенциала высшей школы".